

Tomi Virtanen

Autosuojaan savunpoistojärjestelmien vertailu palosimuloinnin avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

3.5.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tomi Virtanen Autosuojan savunpoistojärjestelmien vertailu palosimuloinnin avulla 67 sivua + 1 liite 3.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	toimitusjohtaja Sami Hämäläinen diplomi-insinööri Timo Salmi
<p>Insinööriytyössä on vertailtu erään maanalaisen autosuojan erilaisten savunpoistojärjestelmien toimivuutta palosimuloinnin avulla. Palosimuloinnilla tarkoitetaan oletettuun palonkehitykseen perustuvaa suunnittelumenetelmää. Vertailtavat järjestelmät olivat koneellinen savunpoistojärjestelmä kanavoituna usean imupisteen avulla ja koneellinen savunpoistojärjestelmä suuntapainepuhaltimien avulla toteutettuna. Tavoitteena on ollut selvittää järjestelmien eroja suuntapainepuhallinlaitteistojen yleistymisen vuoksi. Työssä on perehdytty myös yleisesti rakennusten paloturvallisuuteen ja savunpoistoon, mutta pääasiassa on keskitytty autosuojiiin ja kyseessä olevaan kohteeseen.</p> <p>Kyseisten järjestelmien vertailussa hyödynnettiin tuloksia, joita saatiin palosimuloinneissa käytettyjen ohjelmien avulla. Tulokset on kerätty neljästä erilaisesta palosimulointitapauksesta, joita on työssä kutsuttu skenaarioiksi. Tuloksia on esitetty kuvaajina sekä kuvina. Palosimuloinnit on laadittu yhdessä työn ohjaajan kanssa.</p> <p>Tuloksista huomattiin, että molempien järjestelmien toiminta oli hyvällä tasolla työssä käytettyjen lähtöarvojen perusteella. Suuntapainepuhaltimilla toteutetuissa savunpoistojärjestelmissä päästiin kuitenkin selvästi parempiin tuloksiin savunpoiston kannalta oleellisissa asioissa kuten lämpötiloissa, näkyvyyksissä ja savun määrissä.</p> <p>Tämän työn palosimulointien perusteella suuntapainepuhaltimilla toteutettua savunpoistojärjestelmää maanalaisissa autosuojissa voidaan pitää suositeltavana ratkaisuna.</p>	
Avainsanat	palosimulointi, savunpoisto, suuntapainepuhallin, autosuoja

Author Title Number of Pages Date	Tomi Virtanen A comparison of smoke extraction systems in a car park using fire simulation 67 pages + 1 appendix 3 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineer
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Oriented
Instructors	Sami Hämäläinen, Managing Director Timo Salmi, Master of Science in Technology
<p>The purpose of this final year project was to compare two different smoke extraction systems in an underground car park with fire simulation, a planning tool for performance-based fire safety design. The systems under comparison were a smoke extraction system with a jet thrust fan system, and a ducted smoke extraction system. The purpose of this final year project was also to explore fire safety and smoke extraction of buildings and especially car parks.</p> <p>Four different scenarios were simulated with fire simulation programmes for this final year project. The results of the simulations were then presented as pictures and graphs. According to the results, both systems were functional but there were obvious differences between the systems. The results in essential factors in the comparison, i.e. temperatures, visibilities and the amount of smoke, were clearly better in the scenarios where the jet thrust fan system was used.</p> <p>Based on the fire simulations of this final year project, it can be concluded that a smoke extraction system with a jet thrust fan system is the recommended solution for underground car parks.</p>	
Keywords	fire simulation, smoke extraction, jet fan, car park

Sisällys

Käsitteistö

1	Johdanto	1
2	Lainsäädäntö ja määräykset	1
2.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki	1
2.2	Suomen rakentamismääräyskokoelman E-sarja	2
3	Simuloitava rakennuskohde	3
4	Kohteen autosuojan palotekniset perusteet	4
4.1	Olennaiset vaatimukset ja vaatimusten täyttymisen osoittaminen	4
4.2	Rakennuksen käyttötapa	4
4.3	Palokuorma	5
4.4	Paloluokka	5
4.5	Palon rajoittaminen palo-osastoon	6
4.6	Rakenteiden kantavuus	6
4.7	Palon leviämisen estäminen	7
4.8	Palon kehittymisen rajoittaminen	7
4.9	Poistuminen palon sattuessa	8
4.9.1	Etäisyys uloskäytävään	8
4.9.2	Uloskäytävien lukumäärä ja mitat	9
4.10	Suojaustasot	9
5	Savunpoisto	10
5.1	Savunpoiston tarkoitus	10
5.2	Savunpoistotasot	10
5.3	Savunhallinnan keinot ja pääperiaatteet	11
5.4	Koneellinen savunpoisto	11
5.5	Savunpoiston korvausilma	12
5.6	Savulohkot	13
5.7	Savusulut	13
5.8	Savunpoiston mitoitus	13
5.9	Savunpoistolaitteisto	14
5.10	Suuntapainepuhallinlaitteisto	15

5.11	Simuloitavan autosuojan savunpoisto	17
6	Palosimulointi	18
6.1	Palosimuloinneissa käytetty mitoituspalo	18
6.2	Käytetyt ohjelmistot	19
6.2.1	Pyrosim 2012	19
6.2.2	FDS 5 (Fire Dynamics Simulator) ja Smokeview	20
6.3	Malli	20
6.4	Simuloinneissa käytetyt mittauslaitteet	21
6.5	Rajaukset palosimuloinneissa	22
6.6	Skenaariot	22
7	Tulokset	28
7.1	Skenaariot 1 ja 2	28
7.2	Skenaariot 3 ja 4	46
8	Johtopäätökset	64
9	Työn aikana syntyneet havainnot	65
	Lähteet	66
	Liitteet	
	Liite 1. Palotekninen suunnitelma	

Käsitteistö

Alkusammutuskalusto. Palonalkujen sammutusvälineistö, joka on kenen tahansa käytettävissä. Esimerkiksi pikapaloposti, käsisammutin ja sammutuspeite.

Automaattinen paloilmoitin. Laitteisto, joka automaattisesti ja välittömästi ilmoittaa alkavasta palosta. Paloilmoitin antaa myös ilmoituksen sen toimintavarmuutta vaarantavista vioista.

Automaattinen sammutuslaitteisto. Tulipalon sammuttamiseen tarkoitettu automaattisesti toimiva laitteisto.

Automaattinen savunpoistolaitteisto. Palossa syntyvän savun ja lämmön poistamiseen tarkoitettu automaattisesti toimiva laitteisto.

Mitoituspalo. Mitoituspalo on rakennuksen, rakennusosan, ym. paloturvallisuuden arviointiin käytettävä, kohteen käyttötarkoituksesta, palokuorman laadusta, määrästä ja laadusta ja sijainnista riippuva kvantitatiivisesti kuvattu palo syttymisestä tulipalon vaikutusten päättymiseen asti.

Osastoitu uloskäytävä. Osastoitu tila, jonka kautta rakennuksesta voidaan poistua turvallisesti.

Palokuorma. Vapautuva kokonaislämpömäärä, kun tilassa oleva aine täydellisesti palaa. Siihen luetaan kantavat, runkoa jäykistävät, osastoivat ja muut rakennusosat sekä irtaimisto. Palokuorman tiheys ilmaistaan määräyksissä megajouleina huoneistoalan neliömetriä kohden (MJ/m²).

Palo-osasto. Rakennuksen osa, josta palon leviäminen on määrätyn ajan estetty osastoin rakennusosin tai muulla tehokkaalla tavalla.

Palosimulointi. Paloteknisten laskentamallien avulla tapahtuvaa mitoittavien palotapahtumien selvittämistä paloturvallisuussuunnittelun perusteita varten. Laskentamallien kelpoisuus tulee olla osoitettu. Palosimulointi on oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelumenetelmä.

Paloteho. Palavan materiaalin palossa luovuttama energia aikayksikössä (MW).

Sammutusreitti. Sammutushenkilöstölle tarkoitettu ulkoa kellarikerrokseen johtava kerrosten uloskäytävistä erillinen kulkureitti.

Savunpoisto. Palossa syntyvän savun ja lämmön poistamiseen rakennuksesta painovoimaisesti taikka koneellisesti.

Savunpoistojärjestelmä. Savunhallintajärjestelmä, joka poistaa savun ja lämmön rakennuksesta tai sen osassa olevasta palosta.

Varatie. Uloskäytävää vaikeakulkuisempi reitti, jota pitkin on mahdollisuus päästä turvaan palolta.

1 Johdanto

Tässä työssä on vertailtu erään maanalaisen autosuojan kahta erilaista savunpoistojärjestelmää ja niiden toimintaa palosimulointia hyväksikäyttäen. Vertailtavat savunpoistojärjestelmät ovat koneellinen kanavoitu savunpoistojärjestelmä usean imupisteen avulla sekä koneellinen savunpoistojärjestelmä suuntapainepuhaltimien avulla.

Palosimuloinnit on laadittu yhdessä työn ohjaajan kanssa ja työ on tehty yritykselle Paloässä Oy, joka on palotekninen suunnittelutoimisto. Paloässä tarjoavat monipuolista suunnittelua ja konsultointia liittyen rakennusprojektien paloturvallisuuteen.

Simuloitavana kohteena on oikea rakennuskohde, josta on simuloitu autosuojan osalta yksi pysäköintiin tarkoitettu kellarikerros. Simuloinneista on laadittu neljä erilaista tapusta, joita kutsutaan skenaarioiksi. Näistä skenaarioista on laadittu simulointien perusteella tuloksia, joiden avulla järjestelmiä on kyetty vertailemaan.

Työssä on perehdytty myös rakennusten palotekniisiin perusteisiin ja savunpoistoon. Pääasiassa on kuitenkin ollut autosuojien palotekniset perusteet ja erityisesti tässä työssä käsiteltävän autosuojan paloturvallisuuteen liittyvät määräykset ja toteutusperiaatteet paloteknisen suunnittelun näkökulmasta.

Työssä on haluttu selvittää kanavoidun järjestelmän ja suuntapainepuhallinjärjestelmän eroja, koska autosuojien osalta suuntapainepuhaltimien käyttö on selvästi yleistynyt. Suuntapainepuhaltimien sijainnit palosimuloinneissa eivät ole täysin samat kuin rakennuskohteeseen asennettavien suuntapainepuhaltimien sijoitus johtuen käynnissä olevan rakennusprojektin muutoksista. Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä työn tarkoituksen kannalta.

2 Lainsäädäntö ja määräykset

2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslaki säätelee rakentamista Suomessa. Lain tavoitteena on järjestää rakentaminen ja alueiden käyttö niin, että luodaan hyvät edellytykset hyvälle

elinympäristölle. Tavoitteena on myös edistää kestävää kehitystä ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti. [1, 1§.]

2.2 Suomen rakentamismääräyskokoelman E-sarja

Ympäristöministeriö ylläpitää Suomen rakentamismääräyskokoelmaa, johon kootaan maankäyttö- ja rakennuslain perusteella rakentamista koskevat säännökset ja rakentamismääräykset sekä ministeriön ohjeet. Valtion muiden viranomaisten antamia rakentamista koskevia määräyksiä voidaan myös koota Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. [1, 13§.]

Suomen rakentamismääräyskokoelman E-sarja käsittelee rakenteellista paloturvallisuutta. Rakentamismääräyskokoelma E jaetaan seuraaviin osiin:

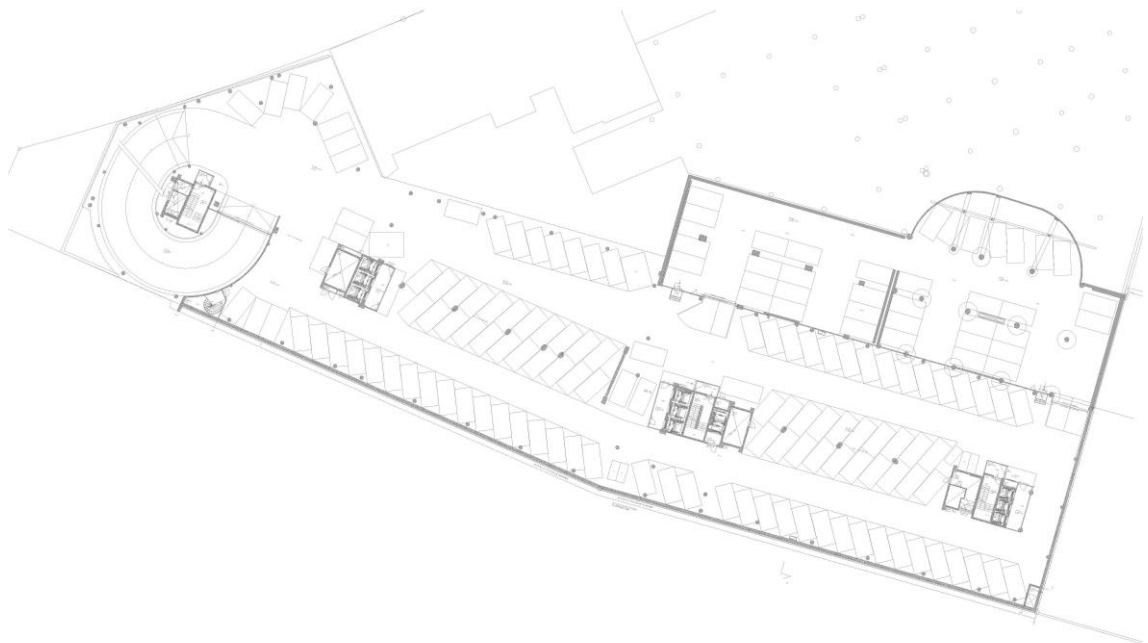
- E1 Rakennusten paloturvallisuus
- E2 Tuotanto- ja varistorakennusten paloturvallisuus
- E3 Pienet savuhormit
- E3 Pienten savupiippujen rakenteet ja paloturvallisuus
- E4 Autosuojien paloturvallisuus
- E7 Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuus
- E8 Muuratut tulisijat
- E9 Kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuus.

Asetuksena annetut ja Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kootut rakentamista koskevat säännökset ovat velvoittavia. Ministeriön antamat ohjeet eivät ole velvoittavia. [2.]

3 Simuloitava rakennuskohde

Tässä työssä simuloitava maanalainen autosuoja on osa suurta korttelikokonaisuutta. Kortteli koostuu useasta eri toimistotalosta. Suurusluokaltaan koko korttelin lattiapinta-ala tulee olemaan reilusti yli 100 000 m². Kyseessä on olemassa oleva korttelikokonaisuus, joista osa taloista korjataan sekä osa taloista puretaan ja niitä rakennetaan uudelleen.

Palosimuloinnit on laadittu yhden toimistorakennuksen maanalaisen kellarikerroksen pysäköintitiloista. Pysäköintiin varattuja kerroksia on yhteensä neljä kappaletta ja ne ovat rakenteeltaan lähes samanlaisia. Simuloitavana kerroksena on käytetty K3-kellaria (kuva 1). Kerroksen pinta-ala on noin 5 500 m². Tässä työssä käsiteltävä autosuoja tulee sijaitsemaan toimistotalon yhteydessä, joka rakennetaan uudelleen eli autosuojan osalta käsitellään uudisrakennusta määräyksineen.



Kuva 1. K3-kellarin pohjapiirustus.

4 Kohteen autosuojan palotekniset perusteet

Rakennuskohteen autosuojan palotekniset määräykset perustuvat Suomen rakentamismääräyskokoelman osiin E1 ja E4.

4.1 Olennaiset vaatimukset ja vaatimusten täyttymisen osoittaminen

Rakennuskohteen olennaisista vaatimuksista on voimassa, mitä maankäyttö- ja rakennusasetuksessa tai muutoin on erikseen säädetty tai määrätty. Tämä tarkoittaa paloturvallisuuden kannalta, että kantavien rakenteiden tulee kestää palon sattuessa niille asetetun vähimmäisajan. Myös palon ja savun kehittymisen ja leviämisen tulee olla rajoitettua, sekä palon leviäminen lähistöllä sijaitseviin rakennuksiin tulee olla rajoitettu. Lisäksi rakennuksessa olevien henkilöiden tulee palon sattuessa pystyä poistumaan rakennuksesta tai heidät tulee voida pelastaa muilla keinoin. Pelastushenkilöstön turvallisuus tulee myös huomioida rakentamisessa. [3, s. 8.]

Mikäli rakennus suunnitellaan määräysten ja ohjeiden paloluokkia ja lukuarvoja noudattaen, paloturvallisuusvaatimusten voidaan katsoa täyttyvän. Jos rakennus suunnitellaan ja rakennetaan oletettuun palonkehitykseen perustuvana, paloturvallisuusvaatimusten myös katsotaan täyttyvän. Oletettuun palonkehitykseen perustuvan suunnittelun ja rakentamisen tulee kuitenkin kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet, ja vaatimusten tähtyminen todennetaan tapauskohtaisesti huomioimalla rakennuksen käyttö ja sen ominaisuudet. [3, s. 8.]

4.2 Rakennuksen käyttötapa

Rakennuksen pääkäyttötavan perusteella ryhmitellään rakennukset tai niiden palo-osastot. Ryhmittelyn perusteena on rakennuksen käyttöaika sekä se, miten hyvin rakennuksen käyttäjät tuntevat tilat. [3, s. 7.]

Tässä työssä käsiteltävä rakennus on ryhmitelty työpaikkatilaksi, mutta simuloitavan autosuojan osalta sovelletaan määräyksiä autosuojan osalta.

4.3 Palokuorma

Palokuorma on vapautuva kokonaislämpömäärä, kun tilassa oleva aine palaa täydellisesti. Siihen luetaan kantavat, runkoa jäykistävät, osastoivat ja muut rakennusosat sekä irtaimisto. Palokuorman tiheys ilmaistaan määräyksissä megajouleina huoneistoalan neliometriä kohden (MJ/m^2). Palokuorman tiheyden mukaan palokuormaryhmiin sijoitetaan eri käyttötavat. Palokuormaryhmiä on kolme, ja ne ovat seuraavat [4, s. 44–45] :

- yli 1200 MJ/m^2
- vähintään 600 MJ/m^2 ja enintään 1200 MJ/m^2
- alle 600 MJ/m^2 .

Autosuojat kuuluvat matalimpaan palokuormaryhmään. Kyseiseen ryhmään saa sijoittaa myös muihin palokuormaryhmiin kuuluvia tiloja, mikäli tilat varustetaan automaattisella sammutuslaitteistolla. Rakennuksen kantavien rakennusosien sekä osastoivien rakennusosien palonkestävyysvaatimukset perustuvat edellä mainittuun palokuormaryhmittelyyn. [3, s. 10.]

4.4 Paloluokka

Rakennukset jaetaan kolmeen paloluokkaan. Paloluokkaan vaikuttavat rakennuksen kerrosluku, korkeus, kerrosala sekä henkilömäärä. Rakennuksen paloluokat ovat P1, P2 ja P3. Paloluokassa P1 rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu. Paloluokassa P2 rakenteiden vaatimukset ovat matalampia, mutta rakennuksen kokoa ja henkilömääriä on rajoitettu. Luokassa P2 turvallisuustason saavuttamiseksi asetetaan vaatimuksia pintakerrosten ominaisuuksille sekä paloturvallisuutta parantaville laitteille. Paloluokassa P3 rakennuksen kantaville rakenteille ei ole erityisvaatimuksia palonkestävyyden suhteen. Myös paloluokkaan P3 kuuluvan rakennuksen turvallisuustaso saavutetaan riittäväksi rajoittamalla rakennuksen kokoa ja henkilömääriä käyttötavasta riippuen. [3, s. 10–12.]

Tässä työssä käsiteltävä kohde kuuluu paloluokkaan P1 rakennuksen koon ja henkilömäärien perusteella.

4.5 Palon rajoittaminen palo-osastoon

Palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi, poistumisen turvaamiseksi, pelastus- ja sammutustoimien helpottamiseksi sekä omaisuusvahinkojen rajoittamiseksi rakennukset jaetaan palo-osastoihin. Palo-osastointia toteutetaan kolmella eri tavalla eli kerrososastoinnilla, käyttötapaosastoinnilla ja pinta-alaosastoinnilla. Kerrososastoinnilla tarkoitetaan nimensä mukaisesti eri kerrosten välistä palo-osastointia. Käyttötapaosastoinnilla tarkoitetaan tilan käyttötavan mukaan tai suuren palokuorman mukaan toteutettavaa osastointitarvetta. Pinta-alaosastoinnilla tarkoitetaan palo-osastointitarvetta, joka on riippuvainen tilan pinta-alasta. [4, s. 56–60.]

Määräyksissä on annettu eri paloluokille käyttötavan perusteella suurimmat mahdolliset palo-osaston koot. Palo-osastoja voidaan kuitenkin suurentaa varustamalla osasto automaattisella paloilmioittimella, automaattisella savunpoistolaitteistolla tai automaattisella sammutuslaitteistolla. [3, s. 14.]

Tässä työssä tutkittava autosuoja toteutetaan erilliseksi palo-osastoksi käyttötapaosastoinnin perusteella, koska autosuoja sijaitsee muun rakennuksen yhteydessä. Rakennuksen kaikki pysäköintitiloiksi tarkoitettut yhteensä neljä kerrosta on osastoitu omiksi palo-osastoiksi pinta-alaosastoinnin perusteella, sillä automaattisella sammutuslaitteistolla varustetun autosuojan enimmäispinta-ala maan alla saisi olla enintään 10 000 m². [5, s. 3.]

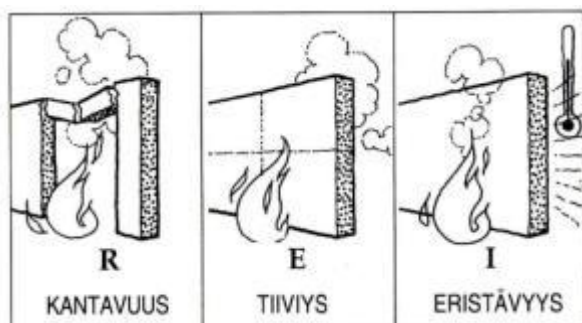
4.6 Rakenteiden kantavuus

P1-luokan rakennukselle ja sen kantaville rakenteille on asetettu luokkavaatimukset. Rakenteet eivät saa palon vaikutuksesta sortumalla aiheuttaa vaaraa määrättyä aikana palon alkamisesta. Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset määräytyvät paloluokan, palokuorman, rakennuksen koon sekä käyttötavan perusteella. Taulukkomitoituksen perusteella kyseessä olevan maanalaisen autosuojan kantavien rakenteiden luokka on R120, mikä tarkoittaa, että rakenteiden tulee kestää sortumatta 120 minuuttia. [3, s. 16.]

4.7 Palon leviämisen estäminen

Palon leviäminen estetään palo-osastojen välillä palo-osastoivien rakennusosien avulla. Rakennusosan tulee olla tarpeeksi tiivis, jotta tuli ja savukaasut eivät pääse rakenteen läpi. Rakenteen tulee myös estää riittävästi lämmön siirtymistä. [4, s. 74.]

Kyseessä olevan autosuojan kaikki palo-osastoinnit ovat luokkaa EI60 taulukkomitoituksen mukaan [3, s. 18]. Merkintä E tarkoittaa tiiviyttä, merkintä I eristävyyttä ja luku 60 aikaa minuutteina (kuva 2). Rakenteiden tulee siis kestää eristävyys ja tiiveyden osalta 60 minuuttia paloa. [4, s. 31.]



Kuva 2. Rakennusosiin kohdistuvat vaatimukset [4, s. 31].

4.8 Palon kehittymisen rajoittaminen

Rakennustarvikkeita jaetaan luokkiin palon syttymis- ja leviämisominaisuuksien, savun tuoton ja palavan pisaroinnin perusteella (kuva 3). Sisäpuolisilla pinnoilla tarkoitetaan seinä-, lattia-, ja kattopintoja ja näille on määräyksissä esitetty luokkavaatimukset. Sisäpuolisten pintojen luokkavaatimukseen vaikuttavat rakennuksen käyttötapa sekä rakennuksen paloluokka. Kun tila varustetaan automaattisella sammutuslaitteistolla, voidaan pinnoille sallia lievempiä vaatimuksia. [3, s. 20–22.]

Autosuojan sisäpuoliset seinä- ja kattopinnat on oltava pääsääntöisesti luokkaa B-s1, d0 ja lattiana on käytettävä A2_{FL}-s1-luokan rakennustarvikkeita [6, s. 34–35].

Selostus

- A1** Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon.
A2 Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu.
B Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu.
C Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti.
D Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä.
E Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä.
F Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty.
- s1** Savuntuotto on erittäin vähäistä.
s2 Savuntuotto on vähäistä.
s3 Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia.
- d0** Palavia pisaroita tai osia ei esiinny.
d1 Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti.
d2 Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia.

Kuva 3. Rakennustarvikkeiden luokat [3, s. 5].

4.9 Poistuminen palon sattuessa

Autosuoja muodostaa oman poistumisalueen, josta tulee olla riittävästi suoraan ulos johtavia osastoituja uloskäytäviä. Uloskäytävien määrään vaikuttavat arvioitu ihmismäärä sekä kulkureittien enimmäispituudet lähimpään uloskäytävään. Autosuojista poistumisen uloskäytävään tulee tapahtua sulkutilan kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että normaalitilanteessa lähinnä pakokaasujen ja myrkyllisten kaasujen leviäminen sekä tulipalotilanteessa savun leviäminen autosuojasta estetään ovijärjestelyin. Lähtökohtaisesti toinen ovi on palo-ovi ja toinen joku muu umpinainen ovi, ja savun leviäminen perustuu siihen, että vain toinen ovi on kerrallaan auki. [6, s. 25–27.]

4.9.1 Etäisyys uloskäytävään

Autosuojissa kulkureitin enimmäispituus uloskäytävään saa olla 45 metriä. Tämä matka voidaan joissain tapauksissa ylittää, mikäli rakennus varustetaan automaattisella sammutuslaitteistolla. Etäisyys poistumisalueelta määritetään lyhintä kulkukelpoista reittiä

pitkin. Jos kulkureitit ovat samansuuntaisia kahteen eri uloskäytävään, lasketaan kyseisen yhteisen poistumismatkan pituus kaksinkertaisena. [3, s. 28.]

Tässä työssä käsiteltävässä autosuojassa syntyy poistumismatkaylityksiä, mutta ne ovat perusteltuja, sillä kohde on suojattu automaattisella sammutuslaitteistolla.

4.9.2 Uloskäytävien lukumäärä ja mitat

Rakennuksessa jokaiselta poistumisalueelta tulisi yleensä olla vähintään kaksi toisistaan riippumatonta uloskäytävää. Yksi uloskäytävä sallitaan asunnoissa, pienissä työpaikakiloissa tai pienissä tuotanto- tai varastotiloissa, mikäli poistumisalueelta on varatie, jonka kautta on mahdollista pelastautua omatoimisesti tai palokunnan toimesta. Mahdollisesti voidaan sallia yksi uloskäytävä myös pienissä majoitustiloissa, hoitolaitoksissa tai koontumis- ja liiketiloissa, mikäli vaaraa ei aiheudu henkilöturvallisuudelle. Nämä tulee myös varustaa varatiellä. [3, s. 29.]

Henkilöiden lukumäärän perusteella lasketaan uloskäytävien vähimmäisleveydet. Mikäli tarkkaa henkilömäärää ei ole tiedossa, voidaan henkilömäärä arvioida määräyksissä olevasta taulukosta pinta-alan ja käyttötavan perusteella. Yleensä uloskäytävän leveyden tulisi olla 1 200 mm. Jos poistumisalueella on alle 60 henkilöä, sallitaan toisen uloskäytävän ovileveydeksi 900 mm. Jos henkilömäärä ylittää 120 henkilöä, yhteenlaskettu vähimmäisleveys saadaan lisäämällä 1 200 mm:iin 400 mm jokaista seuraavaa 60:tä henkilöä kohden. [3, s. 30.]

Tämän työn autosuojasta järjestetään yhteensä kolme osastoituun uloskäytävään johtavaa reittiä, joiden kunkin leveys on 1 200 mm.

4.10 Suojaustasot

Suojaustasoja on yhteensä kolme. Suojaustaso 1 sisältää tavallisen alkusammutuskaluston. Suojaustaso 2 sisältää alkusammutuskaluston lisäksi automaattisen paloilmoituimen. Suojaustaso 3 puolestaan sisältää automaattisen sammutuslaitteiston alkusammutuskaluston lisäksi. Autosuojan palo-osaston enimmäispinta-ala, rakennuksen paloluokka sekä maanalainen tai maanpäällinen sijainti vaikuttavat suojaustasoon. [5, s. 3.]

Simuloitavan autosuojan osalta suojaustaso on 1+2+3.

5 Savunpoisto

5.1 Savunpoiston tarkoitus

Savunpoistojärjestelmän tarkoituksena on palon alkuvaiheessa savun ja lämmön poistaminen rakennuksesta sekä palon sammutusvaiheessa haitallisten savukaasujen poistaminen jälkivahinkojen minimoimiseksi. Savunpoistolla pyritään turvaamaan rakennuksesta poistuminen ja henkilöiden pelastautuminen. Savunpoisto myös helpottaa palokunnan sammutustyötä sekä pyrkii estämään omaisuus- ja ympäristövahinkoja. [7, s. 17.]

5.2 Savunpoistotasot

Savunpoistotasot jaetaan kolmeen eri luokkaan. Savunpoistotaso 1 tarkoittaa, että savunpoiston järjestäminen ei edellytä erityistoimenpiteitä, mikäli tilan ovi- ja ikkuna-aukkoja voi palokunta käyttää savunpoistoon. Savunpoistotaso 2 tarkoittaa, että palokunta käynnistää savunpoistolaitteet paikalle saavuttuaan. Savunpoistotason 2 olennainen tehtävä on palokunnan sammutus- ja pelastustoiminnan helpottaminen. Savunpoistotasolla 3 tarkoitetaan automaattista savunpoistolaitteistoa, joka toimii savuilmaisinohjauksella, mutta myös käsinohjaus tulee olla järjestetty. Savunpoisto toteutetaan yleensä savunpoistotason 3 mukaisesti, kun savunpoiston pääasiallinen tarkoitus on varmistaa ihmisten poistuminen rakennuksesta jo ennen palokunnan paikalle saapumista. [7. s. 38–40.]

Käsiteltävän autosuojan savunpoistotaso on 2, ja simuloinneissa on huomioitu palon alusta 900 sekuntia, jolloin savunpoisto käynnistyy. Tämä 900 sekunnin eli 15 minuutin viive kuvaa aikaa, joka palokunnalta kestää hälytyksen jälkeen saapua paikalle, kartoittaa tilanne ja käynnistää savunpoisto.

5.3 Savunhallinnan keinot ja pääperiaatteet

Savukaasujen hallintaan voidaan palotilanteessa käyttää seuraavia pääperiaatteita:

- Palo-osastoivilla sekä savua estävillä rakenteilla voidaan rajoittaa savun leviämistä syttymistilasta laajemmalle alueelle
- Savu poistetaan tilojen yläosista, joko koneellisesti tai painovoimaisesti ja tilan alaosista johdetaan puhdasta korvausilmaa tilalle
- Savuton tila on mahdollista saada aikaan paineistamalla suojattava tila puhaltimilla
- Suuntapainepuhallusta voidaan käyttää tunneleissa sekä autosuojissa ilmanvaihtoon sekä palotilanteessa savunpoistoon
- Savukaasupitoisuuden laimentamisella saadaan tilassa aikaan siedettävät olosuhteet. [7, s. 18–19.]

5.4 Koneellinen savunpoisto

Koneellinen savunpoisto on soveltuva kohteissa, joissa painovoimaisen savunpoiston käyttäminen ei ole mahdollista. Koneellinen savunpoisto voi olla myös kustannuksiltaan painovoimaista savunpoistoa edullisempi toteuttaa. Koneellisen savunpoiston toimintavarmuudelle on tärkeää, että sähkönsyöttö on varmistettu ja puhaltimien, moottoreiden ja peltien toimilaitteet on valittu tarkoitukseen soveltuviksi. Kyseisten komponenttien kaapeloinnit sijoitetaan niin, että ne eivät ole palon rasitukselle alttiina tai käytössä on palonkestävä asennustapa. Palamattomia materiaaleja tulee käyttää savunpoistokanavien, tarvittavien eristysten ja kannakointien osalta. Myös puhaltimen joustavat liitos-osat ja tärinäeristeet tulee tehdä palamattomasta materiaalista. [8, s. 82.]

Koneellisen savunpoiston osalta oleellisia kansallisia standardeja:

- SFS 7023. Savusuluilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot
- SFS 7025. Savunpoistopuhaltimille eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot
- SFS 7028. Savunhallintakanaville eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot

- SFS 7029. Savunhallintapelleille eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot.

Savunpoistopuhaltimien (kuva 4) osalta Suomessa olennaisin vaatimus on, että puhaltimien tulee kestää palossa kaksi tuntia 400 °C:n lämpötilaa. Suuntapainepuhaltiminen osalta vaatimus on kaksi tuntia 200 °C:n lämpötilaa, kun kohde on suojattu automaattisella sammutuslaitteistolla. [9, s. 2.]



Kuva 4. Aksiaalipuhallin koneelliseen savunpoistoon [10, s. 1].

5.5 Savunpoiston korvausilma

Korvausilman saanti on savunpoiston toimivuuden kannalta hyvin olennainen osa. Korvausilma johdetaan palavaan tilaan tarpeeksi matalalla nopeudella, jotta vältetään savukaasujen sekoittumiselta. Korvausilma voidaan johtaa tilaan joko korvausilma-aukkojen avulla tai koneellisesti kanavoituna korvausilmapuhaltimien avulla. Korvausilma voidaan toteuttaa ovi- tai ikkuna-aukkojen kautta tai erillisten korvausilmaluukkujen avulla. Korvausilman virtausnopeus korvausilma-aukoissa ei lähtökohtaisesti saisi ylittää arvoa 5 m/s. Koneellisen savunpoiston yhteydessä tulee varmistaa, että korvausilma-aukot ovat auki ennen savunpoistopuhaltimien käynnistymistä. [8, s. 84.]

Tämän työn osalta korvausilma johdetaan autosuojaan koneellisesti kaikissa eri simuloititapauksissa, joita tullaan kutsumaan skenaarioiksi.

5.6 Savulohkot

Savunpoistoa varten rakennus jaetaan savulohkoihin. Savulohkoihin jako tapahtuu savua estävillä rakenteilla esimerkiksi palo-osastoinneilla, savutiiveillä rakenteilla sekä savusuluilla. Savusuluilla tarkoitetaan pääasiallisesti katon alapuolella olevia rakenteita, joilla savun leviämistä pyritään estämään. Savulohkoihin jaon tarkoituksena on varmistaa, että savukerros pysyy riittävän lämpimänä ja näin ollen pysyy huonetilan yläosassa. Tämä helpottaa turvallista poistumista alueelta, kun jäähtyneemmät savukaasut eivät painu alas estämään poistumista. Tämän vuoksi myös savulohkojen pinta-alat eivät saa ylittää kriittisiä rajoja. Toisistaan selvästi poikkeavat toiminnot sijoitetaan yleensä eri savulohkoihin, ja jokaisesta savulohkosta tulee järjestää joko painovoimainen tai koneellinen savunpoisto, joita ei kuitenkaan saa yhdistää. [7, s. 20–22.]

5.7 Savusulut

Savusulut voivat olla kiinteärakenteisia seinämiä katossa tai palotilanteessa alas laskeutuvia paloa kestäviä ja tarpeeksi tiiviitä savuverhoja. Savusulkuja käytetään tyypillisesti, kun rajataan savulohkoja. Tyypillisiä käyttökohteita savusuluille ovat esimerkiksi aukkojen, käytävien, liukuportaiden tai kauppayksikön sulkeminen. Tyypillisiä savusulkumateriaaleja ovat mm. kangas, lasi, metalli, palolevy, lasikuitu ja vuorivilla tai muu materiaali, jolla on riittävä lämpötilankesto kuumille savukaasuille. [7, s. 176–177.]

5.8 Savunpoiston mitoitus

Savunpoiston mitoitus voidaan toteuttaa muutamalla eri tavalla. Yleisesti savunpoiston mitoitus tapahtuu prosenttiperusteisena, jolloin savulohkon pinta-ala kerrotaan prosenttiyksiköllä ja saadaan painovoimaisen savunpoiston osalta savunpoistoon vaadittava aukko-ala tai koneellisen savunpoiston osalta saadaan tarvittava virtaama. Prosenttimitoituksen perusteena on Suomen rakentamismääräyskokoelman E-sarja. Autosuojan prosenttimitoitukselle yleistä on, että mikäli rakennus suojataan automaattisella sammuuslaitteistolla, prosenttiyksikkö on yleensä 0,5 %. Jos autosuoja suojataan automaattisella paloilmoittimella, prosenttiyksikkönä on yleensä 1,0 %. Mikäli autosuoja suojataan vain alkusammutuskalustolla, prosenttiyksikkö on yleensä 2,0 %. [5, s. 4.]

Prosenttimitoituksessa käytetään myös painovoimaisen savunpoiston osalta virtauskerrointa, jolla jakamalla prosenttimitoituksen antama tehollinen pinta-ala saadaan savunpoistolle vaadittava geometrinen aukko-ala. Virtauskerroin riippuu savunpoistoon tarkoitettujen luukkujen tai ikkunoiden avautumiskulmasta. Virtauskertoimet vaihtelevat yleisesti välillä 0,2–0,7. [12, s. 3.]

Koneellisen savunpoiston osalta voidaan myös käyttää virtauskerrointa. Koneellisen savunpoiston osalta prosenttimitoituksessa saatu arvo kerrotaan virtauskertoimella, jotta päästään lopulliseen savunpoistomäärään. Yleisesti suunnittelukohteen kunnan viranomaisten hyväksymänä virtauskertoimena koneelliselle savunpoistolle voidaan käyttää arvoa 1,7. [13.]

Savunpoistomäärät voidaan mitoittaa myös tässäkin työssä lähteenä käytetyn kirjan (RIL 232–2012 Rakennusten savunpoisto) mukaisilla laskentakaavoilla. Laskentakaavat löytyvät eriteltynä savunpoistotasolle 1, savunpoistotasolle 2 sekä vakiopalotehoon perustuvaan mitoitukseen savunpoistotasolle 3. [7, s. 71–104.]

Savunpoiston mitoitus voidaan laatia myös oletettuun palonkehitykseen perustuvana suunnitteluna. Tällöin voidaan tarkastella palon vaiheita palosimulointien ja tilastotietojen perusteella. Oletettuun palonkehitykseen perustuvassa suunnittelussa savunpoisto suunnitellaan toimivaksi osaksi paloturvallisuusjärjestelmää, sillä rakennusta tarkastellaan kokonaisuutena. [7, s. 104.]

5.9 Savunpoistolaitteisto

Savunpoistolaitteisto tulee toteuttaa niin, että laitteisto kokonaisuudessaan täyttää palotilanteessa sille asetetut vaatimukset. Painovoimainen savunpoistolaitteisto sisältää luukut avauslaitteineen sekä tehonlähteineen, mahdollisen luukun alla olevan savunpoistohormin, korvausilma-aukot, mahdollisen ohjauskeskuksen ja kaapeloinnit keskukselta luukuille. Koneellinen savunpoistolaitteisto sisältää puhaltimet käynnistyslaitteineen sekä tehonlähteineen, mahdolliset savunpoistokanavat ja savunhallintapellit, korvausilma-aukot tai puhaltimet, ohjauskeskuksen ja ohjauskaapeloinnit keskukselta savunhallintapelleille ja puhaltimille. [7, s. 212–214.]

5.10 Suuntapainepuhallinlaitteisto

Suuntapainepuhaltimia (kuva 5) voidaan käyttää savuttomien vyöhykkeiden muodostamiseen, jolloin laitteiston tarkoitus on ensisijaisesti palokunnan sammutustyön helpottaminen. Suuntapainepuhallinlaitteiston käyttö on soveltuva erityisesti mataliin kohteisiin, joissa poistettava savumäärä on suuri ja savulohkojen muodostaminen savusulkujen avulla on hankalaa. Autosuojat ovat yleinen esimerkki, jossa suuntapainepuhaltimia voidaan käyttää. Laitteiston toiminta perustuu siihen, että ihmiset ovat tulipalotilanteessa poistuneet jo alueelta ja palokunta käyttää suuntapainepuhaltimia apuna pääsylle palokohteeseen. [7, s. 147.]



Kuva 5. Kattoon asennettuja suuntapainepuhaltimia [11, s. 1].

Suuntapainepuhaltimia voidaan käyttää sekä ilmanvaihtoon että savunpoistoon. Tällöin suuntapainepuhaltimille tulee automaattisella sammutuslaitteistolla suojatussa kohteessa palonkestävyysvaatimukseksi kaksi tuntia 200 °C:n lämpötilaa. Jos autosuojaa ei varusteta automaattisella sammutuslaitteistolla, palonkestävyysvaatimus on kaksi tuntia 400 °C:n lämpötilaa. Tämä johtaa siihen, että puhaltimissa joudutaan laakereiden voiteluaineena käyttämään eri ainetta kuin vain ilmanvaihtokäytössä olevissa suuntapainepuhaltimissa. Näin ollen yhteiskäytössä olevien suuntapainepuhaltimien huollettavuus

saattaa kasvaa huomattavasti, ja suuntapainepuhaltimien osalta tulisi harkita mahdollisesti erillisiä ilmanvaihtoon ja savunpoistoon tarkoitettuja suuntapainepuhaltimia, jos automaattista sammutuslaitteistoa ei käytetä. [14.]

Suuntapainepuhaltimien sijoituksille tai mitoitukselle ei ole erityistä virallista suunniteluohjetta. Savunpoiston osalta suuntapainepuhaltimien sijoitus tulisi olla niin sanotulla kylmällä puolella, sillä kuumat savukaasut heikentävät puhaltimen työntöä ja lämpötilan nousu saattaa nousta puhaltimien osalta kriittiseksi. Suuntapainepuhaltimien sijoituksella kylmälle puolelle tarkoitetaan sitä, että tilaa käsitellään yhtenä savulohkona, mutta se jaetaan toiminnallisiin savunpoistoalueisiin, jotka tulipalon sijainnin perusteella määrittävät mihin suuntaan suuntapainepuhaltimilla savukaasut ohjataan. [14.]

Suuntapainepuhaltimien sijoitusten osalta voidaan kuitenkin käyttää muutamia karkeita sääntöjä. Suuntapainepuhaltimien edessä painepuolella tulisi olla vähintään puhaltimen pituuden mitta vapaata tilaa esteiden osalta. Vastaavasti imupuolella tulisi vapaata tilaa olla vähintään puhaltimen halkaisijan mitan verran. Suuntapainepuhaltimia ei tulisi puhallussuunnassa peräkkäin sijoittaa 40:tä metriä lähemmäksi toisistaan, ja autosuojissa vierekkäin olevat suuntapainepuhaltimet voi sijoittaa noin autopaikkojen mukaisille leveyksille. Savunpoistotilanteessa on myös tärkeää, että suuntapainepuhaltimien virtaama on tasapainossa itse poistopuhaltimien virtaaman kanssa, jolloin ehkäistään takaisinvirtauksia ja turbulenssia. [14.]

Tässä työssä käsiteltävässä autosuojassa toiminnallinen savunpoistoraja on autosuojan keskivaiheilla suuntapainepuhaltimien osalta ja kanavoidun savunpoistojärjestelmän osalta samassa kohdassa käytetään savusulkua. Suuntapainepuhaltimien laitetoimittaja on laatinut ilmanvaihdon osalta virtaussimuloinnit kohteesta ja laatinut suuntapainepuhaltimien sijainnit. Palosimuloinneissa on savunpoiston osalta käytetty näitä kyseisiä sijoituksia. Suuntapainepuhaltimien sijoitukset eivät kuitenkaan rakennusprojektin osalta ole täysin lopullisia sijoituksia johtuen muutoksista, joita tehtiin tässä työssä laadittujen palosimulointien jälkeen. Suuntapainepuhaltimien sijoitukset ovat kuitenkin lähes samoilla kohdilla palosimuloinneissa kuin muuttuneissa sijoituksissa.

5.11 Simuloitavan autosuojan savunpoisto

Tässä työssä käsiteltävän autosuojan savunpoisto toteutetaan suuntapainepuhaltimien avulla. Vertailun vuoksi savunpoiston simuloinnit on laadittu myös kanavoidulle järjestelmälle. Kohteen savunpoisto järjestetään niin, että autosuojan molemmissa päissä on savunpoistoon/korvausilmaan tarkoitettu tekninen kuilu. Savunpoistopuhaltimet sijoitetaan toimistorakennuksen katolle, josta kanavoinnit kuilun sisällä tulevat kellarin autosuojaan asti. Savunpoistopuhaltimia voidaan käyttää joko savunpoistoon tai korvausilman saantiin, sillä niiden pyörimissuuntaa voidaan ohjata. Puhaltimia voidaan käyttää täydellä teholla molempiin suuntiin. Kun savunpoisto käynnistetään, avautuvat kuiluihin asennetut luukut ja savunpoistopuhaltimet käynnistyvät viiveellä. Autosuojan toisesta kuilusta johdetaan koneellisesti korvausilmaa riippuen siitä, että kumpaan suuntaan autosuojaa savunpoisto ohjataan.

Autosuojan osalta pohjapiirustuksessa on hieman eri korossa oleva pysäköintialue, jota ei ole huomioitu palosimuloinneissa. Tämä siksi, että alue on rajattu savutiiviillä seinällä erikseen muusta autosuojasta ja siihen johtavat pienet ajorampit varustetaan laskeutuvilla savuverhoilla, jotka laskeutuvat lattiaan asti tulipalotilanteessa. Kyseinen tila muodostaa siis erillisen savulohkon ja sieltä on järjestetty oma koneellinen savunpoisto.

Kohteen autosuojan savunpoistomäärä suuntapainepuhaltimia käytettäessä savunpoistoon on $40 \text{ m}^3/\text{s}$, ja vastaavasti korvausilmamäärä on sama. Mitoitus on tehty kokemuseräisenä, koska saman tyyppisiä ja kokoisia vastaavia autosuojia on simuloitu ja niissä kyseinen virtaama on ollut riittävä savunpoistoon. Mitoitus on myös lähellä automaattisella sammutuslaitteistolla suojatun tilan prosenttimitoitusta, mikäli virtauskerrointa ei huomioida. [13.]

Suuntapainepuhaltimien osalta virtausnopeutena on käytetty arvoa $14,3 \text{ m/s}$ ja puhaltimen pinta-alana $0,09 \text{ m}^2$. Puhaltimen pinta-alaan on vaikuttanut simulointiohjelman toiminta, joka ei hyväksy ympyränmallista muotoa ja suuntapainepuhaltimien osalta geometriaa on hieman jouduttu soveltamaan. Näin ollen suuntapainepuhaltimien virtaama vastaa kuitenkin arvoa $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kanavoidun savunpoistojärjestelmän osalta tilanne on kuvitteellinen ja niin sanotusti perinteisempi toteutustapa. Savunpoisto on mitoitettu prosenttiperusteisena (0,5 %) ja mi-

toituksessa on käytetty virtauskertoimena arvoa 1,7. Kanavoidussa järjestelmässä autosuoja on jaettu kahteen lähes yhtä suureen savulohkoon autosuojan keskivaiheilla olevan savusulkurakenteen avulla. Savunpoiston mitoitus on tehty suuremman savulohkon mukaan, jolloin virtaamaksi on saatu $17,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Kyseinen virtaama on jaettu erillisiin savunpoiston imupisteisiin ajatuksella 1 imupiste / 400 m^2 , jolloin imupisteitä on viisi kappaletta ja jokaiselle imupisteelle virtaamaksi tulee $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Vastaavasti korvausilmamäärät ovat samat. Tässä versiossa savunpoisto- ja korvausilmareitit kanavoidaan kuvitteellisesti teknisiin kuiluihin.

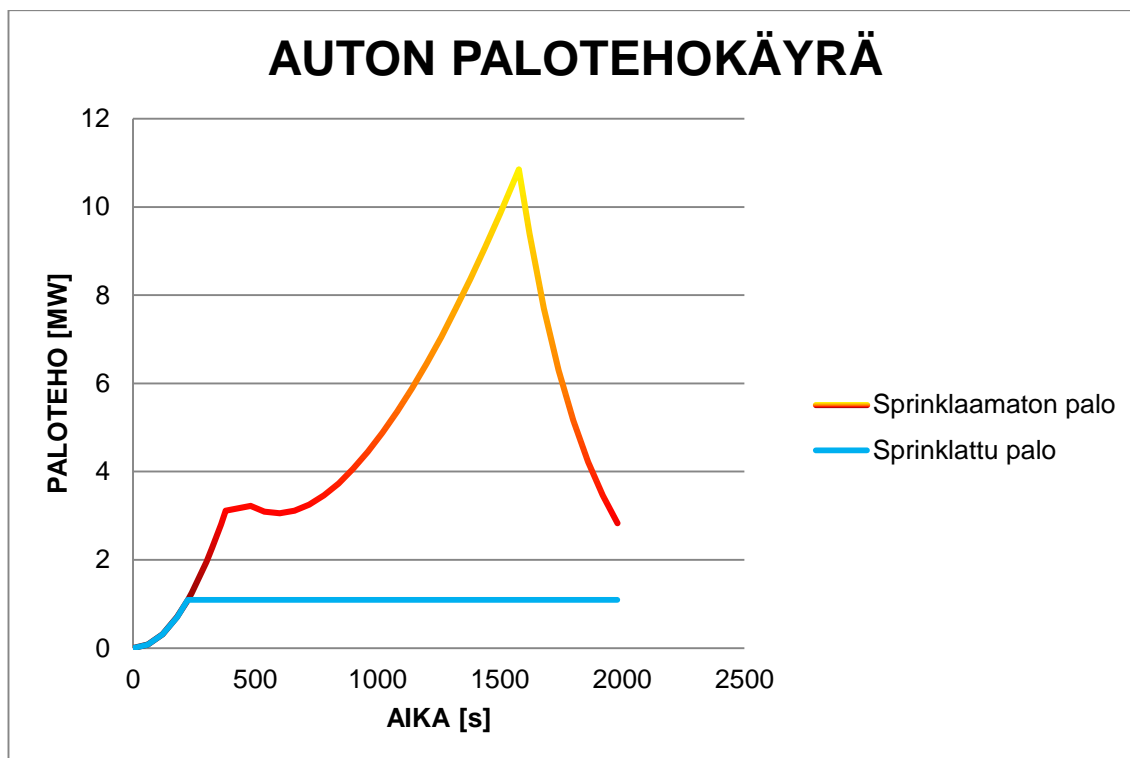
6 Palosimulointi

6.1 Palosimuloinneissa käytetty mitoituspalo

Mitoituspalo on nimensä mukaisesti palo, jonka mukaan kohteen paloturvallisuus mitoitetaan. Näin ollen tällaisen palon tulee olla tarpeeksi vakava kohteelle, mutta se saisi tapahtua vain hyvin pienellä todennäköisyydellä. Mitoituspaloja voi olla useita palon syttymispaikasta, syttymistavasta ja ajankohdasta riippuen. Eri mitoituspalojen valintaan vaikuttaa vaaralle alttiina oleva kohde. Mitoituspalo tulee valita ja sijoittaa siten, että palon vuoksi syntyisivät vaarallisimmat olosuhteet eri rasisustekijöiden suhteen. [15, s. 50–51.]

Koska työssä käsitellään autosuojaa, mitoituspalona palosimuloinneissa on käytetty suuren henkilöauton palotehoa. Mitoituspalotehossa on oletettu automaattisen sammutuslaitteiston toimivan ja rajaavan palon yhteen autoon ja rajoittavan palon palotehoa.

Auton mitoituspalossa syntyy VTT:n mitoituspalo-oppaan tyyppin 4 henkilöauton mukaisesti $10,8 \text{ MW}$:n paloteho ja palamisen kesto on noin 60 minuuttia [16, s. 71]. Varsinainen palosimulointi on kuitenkin tehty palotehokäyrällä, joka muodostuu niin, että ensimmäinen palo simuloitiin huomioimatta automaattisen sammutuslaitteiston toimintaa. Tämän jälkeen laskettiin mitta-antureista saatujen lämpötilojen keskiarvon perusteella aika, jolloin lämpötila nousi $68 \text{ }^\circ\text{C}$:seen. Tässä lämpötilassa automaattinen sammutuslaitteisto reagoi laukeamalla ja vakiinnuttaa palotehon. Tämä automaattisen sammutuslaitteiston rajoittama paloteho on syötetty kaikkiin tämän työn palosimulointiskenaarioihin. Automaattisen sammutuslaitteiston ei tässä työssä oleteta sammuttavan paloa, jolloin tuloksiin saadaan varmuuskerrointa.



Kuva 6. Palosimuloinneissa käytetty henkilöauton palotehokäyry.

Kuvassa 6 on esitetty VTT:n mitoituspalo-oppaan mukainen tyypin 4 autopalon paloteho, sekä laskennassa käytetty automaattisella sammutuslaitteistolla huomioitu mitoituspalo. Simuloinneissa käytetyn mitoituspalon paloteho kasvaa korkeimmillaan noin 1,1 MW, johon se on vakiinnutettu laskennan ajaksi. Kuvassa 6 sprinklauksella tarkoitetaan siis automaattista sammutuslaitteistoa.

Savun laadulla ja määrällä on oleellinen vaikutus tuloksiin valitussa mitoituspalossa. Tätä arvoa on muutettu palosimulointiohjelman käyttämällä paloreaktiolla. Paloreaktiona on tässä työssä käytetty polypropeenimuovia vastaavaa paloreaktiota, jolloin noen tuotto on 0,05 kg/kg (5 %) [17, s. 5].

6.2 Käytetyt ohjelmistot

6.2.1 Pyrosim 2012

Pyrosim-ohjelmisto on graafinen käyttöliittymä FDS-ohjelmalle, jossa puolestaan tapahtuu kaikki simulointiin liittyvä laskenta. Pyrosim-ohjelmaan liitetään simuloitava malli, jossa sitä pystytään vielä muokkaamaan. Pyromin-ohjelmassa malliin sijoitetaan kaikki

tarvittava palosimulointien osalta, kuten savunpoiston imupisteet, savunpoistomäärät, korvausilmapistteet, korvausilmamäärät, suuntapainepuhaltimet, mitta-antureita, mitausdataa visuaalisesti kuvaavat leikkaukset ja itse mitoituspalo. Pyrosim-ohjelmassa voidaan työskennellä 2D-tilassa tai 3D-tilassa. Pyrosim-ohjelmassa malli jaetaan myös mallin geometriaan sopiviin soluihin, joissa FDS suorittaa laskemisen. Mitä pienempää solukokoa käytetään, sitä tarkempia ovat simuloinnit. [18.]

Kohteen palosimuloinneissa on solukokona käytetty 30 cm x 30 cm x 30 cm, ja tällä solukoolla yhden skenaarion simuloimiseen kahdella prosessorilla kului aikaa noin vuorokausi. Pyrosim-ohjelmiston osalta on käytetty versiota Pyrosim 2012.

6.2.2 FDS 5 (Fire Dynamics Simulator) ja Smokeview

Fire Dynamics Simulator eli FDS on NIST:n (National Institute of Standards and Technology) kehittämä virtaustekninen laskentaohjelma, joka laskee matemaattisia yhtälöitä, jotka kuvaavat palon kehitystä. FDS-ohjelman kehityksessä on ollut mukana myös suomalaisia VTT:n tutkijoita. Palosimuloinnin tulosten graafiseen esittämiseen käytetään Smokeview-ohjelmaa, joka on FDS-ohjelmiston osa. [19, s.3.]

Tämän insinööriyön simuloinneissa on käytetty FDS-ohjelmiston versiota 5.5.3 ja tulokset-osiossa esitettyjen kuvien ottamiseen on käytetty Smokeview-ohjelman versiota 5.6.

6.3 Malli

Palosimulointeja varten mallina on käytetty arkkitehdin laatimaa DWG-pohjapiirustusta, joka on syötetty Pyrosim-ohjelmistoon. Pyrosimillä on tehty simuloitava malli muokkaamalla autosuojan geometria 3D-muotoon. Pyrosimillä on tehty myös muita pienempiä muokkauksia, kuten rajattu rakenteella suurempi simuloinneissa käytetty autosuojan osa pienemmästä erillisestä pysäköintitilasta erilleen, sillä savunpoistotilanteessa aukoissa ovat lattiaan asti laskeutuvat savuverhot. Myös ajorampin yhteys on muokattu tiiviiksi, sillä palotilanteessa siinä on palorullaovi toteuttamassa palo-osastointia. Pyrosimillä on myös jouduttu lisäämään tilaan välipohjarakenne oikealle korkeudelle, jotta malli on simuloinneissa tiivis. Katossa olevat palkit jouduttiin myös määrittämään oikeisiin mittoihin ohjelmalla. Autosuojan korkeus on 2,7 metriä, jota on myös käytetty mallissa. Mallissa

tärkeimmät seikat ovat rakenteet ja rakennuksen mitat. Erityisiä yksityiskohtia malliin ei ole sijoitettu, koska niillä ei ole katsottu olevan paloteknisesti vaikutusta tuloksiin.

6.4 Simuloinneissa käytetyt mittauslaitteet

Simuloinneissa on käytetty erilaisia mittausmenetelmiä tulosten saamiseksi. Simulointipohjaan on ohjelmistolla tehty x-, y-, ja z-akselin suuntaisia leikkauksia, joista saadaan visuaalista dataa lämpötiloista, savun muodostumisesta, virtauksista ja näkyvyydestä. Malliin on myös sijoitettu erilaisia mitta-antureita, jonka avulla saadaan tuloksia. Mittauspisteet on esitetty kuvissa eri skenaarioille. Tuloksissa kuvaajina esitetyt arvot on saatu mittareiden avulla. Käytetyt mittarit ovat seuraavat:

- TEMP PALO, lämpötilamittari palon yläpuolella korkeudella 2,6 m
- HEAT 01, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 02, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 03, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 04, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 05, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 06, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 07, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 08, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 09, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 010, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- HEAT 011, lämpötilamittari korkeudella 2,6 m
- UK HEAT 1, lämpötilamittari 1.uloskäytävän kohdalla korkeudella 2,6 m
- UK HEAT 2, lämpötilamittari 2.uloskäytävän kohdalla korkeudella 2,6 m
- UK HEAT 3, lämpötilamittari 3.uloskäytävän kohdalla korkeudella 2,6 m
- UK THCP 1, lämpötilamittari 1.uloskäytävän kohdalla korkeudella 2,6 m
- UK THCP 2, lämpötilamittari 2.uloskäytävän kohdalla korkeudella 2,6 m

- UK THCP 3, lämpötilamittari 3.uloskäytävän kohdalla korkeudella 2,6 m
- UK VISIBILITY 1, näkyvyysmittari 1.uloskäytävän kohdalla korkeudella 2,0 m
- UK VISIBILITY 2, näkyvyysmittari 2.uloskäytävän kohdalla korkeudella 2,0 m
- UK VISIBILITY 3, näkyvyysmittari 3.uloskäytävän kohdalla korkeudella 2,0 m.

HEAT-lämpötilamittari on normaali lämpötilan mitta-anturi, joka mittaa hetkellisesti tilassa olevaa lämpötilaa. Puolestaan THCP-lämpötilamittari on hieman erilainen, sillä mittari lämpenee ja viilenee itse olosuhteista riippuen ja ilmoittaa siten hetkellistä lämpötilaa. THCP-lämpötilamittarit vastaavat materiaaaliltaan nikkelin arvoja. Näin ollen tuloksissa HEAT-lämpötilamittareiden lämpötilamuutokset ovat voimakkaampia. [18, s. 100–102.]

Kaikkien tulosten osalta näkyvyyttä on mitattu metreinä [m] ja lämpötiloja on mitattu celsiusasteina [°C].

6.5 Rajaukset palosimuloinneissa

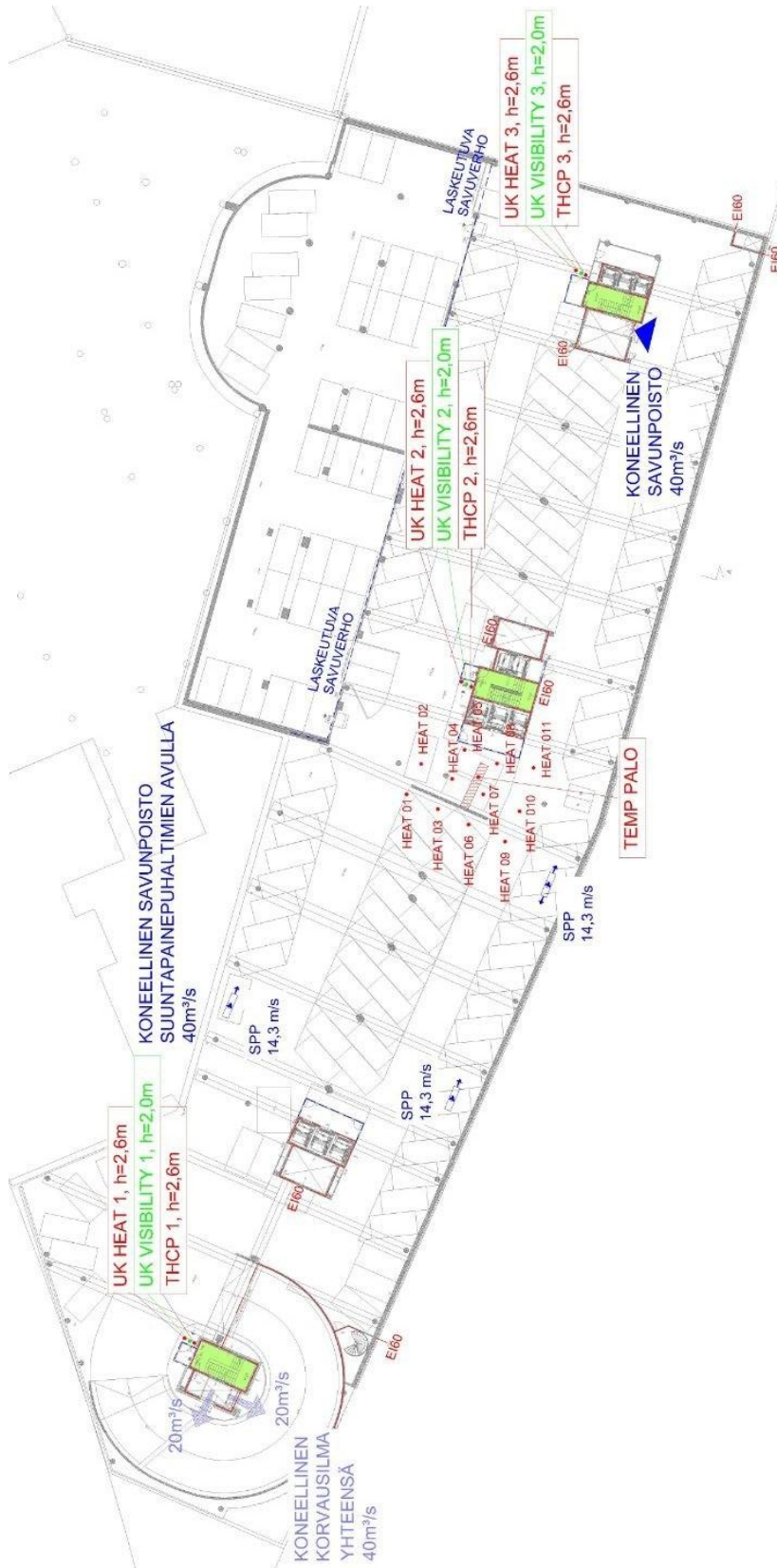
Simuloinneissa normaalitila on stabiili eli esimerkiksi ilmanvaihto ei ole päällä eikä muutaakaan virtauksia tapahdu autosuojassa. Näiden huomioiminen simuloinneissa olisi erittäin haastavaa, joten niitä ei ole otettu huomioon. Oletetaan myös, että savunpoistotilanteessa kaikki ovet ovat suljettuna ja savuverhot laskeutuneet. Simuloinneissa autosuoja on tyhjä, ja alkulämpötila autosuojassa on 20 °C.

6.6 Skenaariot

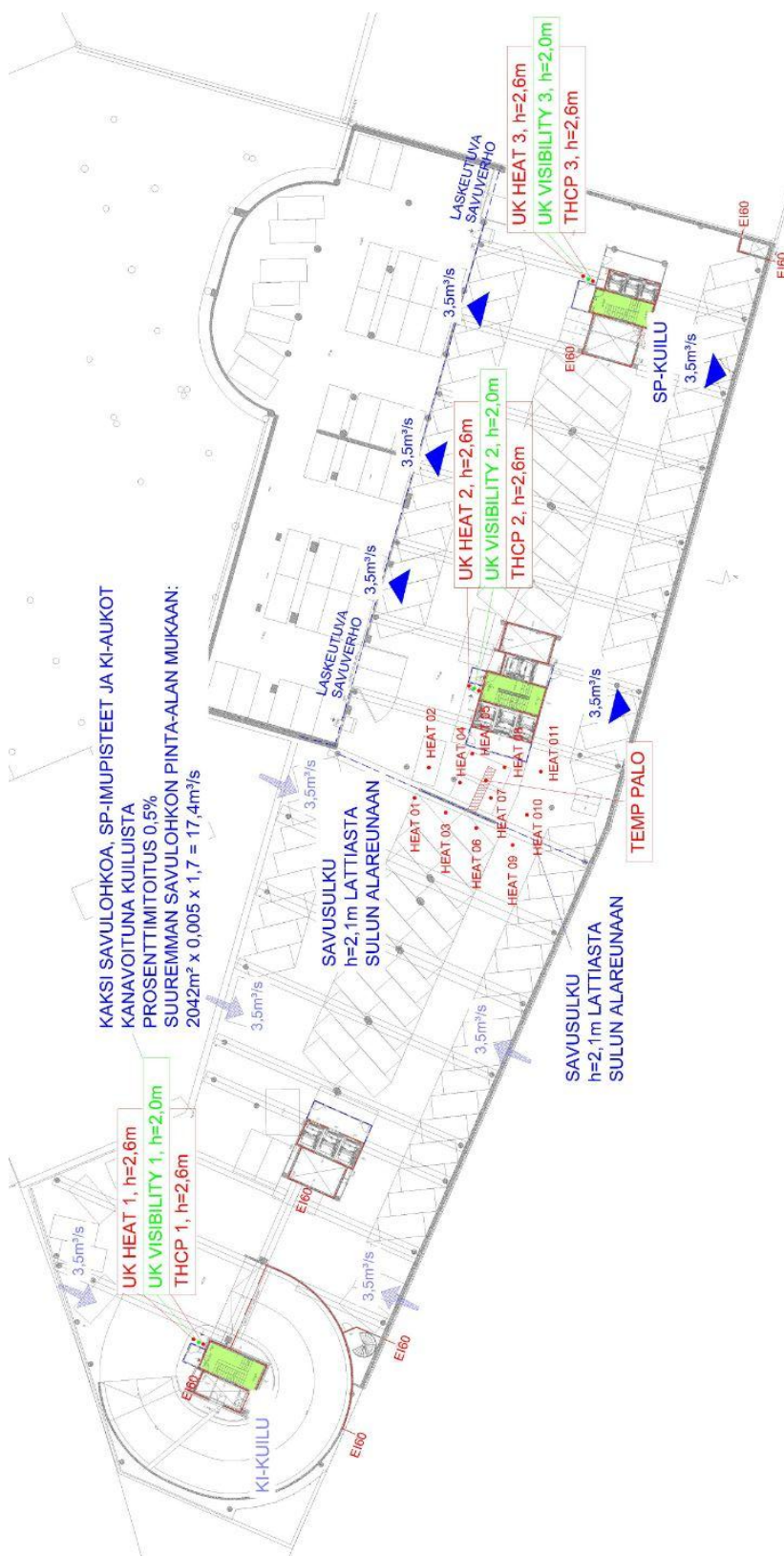
Palosimuloinneista on laadittu yhteensä neljä erilaista tapausta, joita kutsutaan skenaarioiksi. Skenaarioiden 1 ja 3 savunpoisto on toteutettu suuntapainepuhaltimien avulla ja skenaarioiden 2 ja 4 savunpoisto on toteutettu kanavoituna savunpoiston imupisteiden avulla. Tuloksissa vertaillaan pääosin eroja skenaarioiden 1 ja 2 välillä sekä vastaavasti skenaarioiden 3 ja 4 välillä. Syynä tähän on mitoituspalon sijoitukset, jotka ovat samat edellä mainitun mukaisesti. Savunpoisto käynnistyy simuloinneissa jokaisessa skenaariossa 900 sekunnin päästä palon alusta. Tämä ajankohta vastaa pelastuslaitoksen toimintavalmiusaikaa.

Paloja on simuloitu jokaisessa skenaariossa 30 minuutin ajan. Olosuhteita selvitettiin siis palon syttymisestä 30 minuutin ajanjaksolle. Tässä vaiheessa voidaan olettaa, että pelastuslaitoksen toiminta on alkanut ja tilanne on vakiintunut. Pidemmän simulointiajan käyttämisellä ei näin ollen saataisi ratkaisevaa lisäinformaatiota tuloksiin.

Skenaarioissa 1 ja 2 mitoituspalo on samassa kohdassa autosuojan keskivaiheilla. Vastaavasti skenaarioissa 3 ja 4 mitoituspalo on samassa kohdassa lähellä kerrosten välistä ajoramppia. Kaikissa skenaarioissa on mitoituspalon osalta huomioitu automaattisen sammutuslaitteiston vaikutus palotehoon. Suuntapainepuhaltimilla toteutettujen skenaarioiden eli 1 ja 3 osalta savunpoiston ja korvausilman virtaama on $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Kanavoitujen skenaarioiden eli 2 ja 4 osalta savunpoiston ja korvausilman virtaama on $17,4 \text{ m}^3/\text{s}$, joka on $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ jokaista savunpoiston imupistettä tai korvausilmapistettä kohden. Havainnollistamisen vuoksi seuraavaksi on esitetty yksityiskohtaisemmat kuvat jokaisesta skenaariosta, joista selviää savunpoiston ja korvausilman toteutus sekä palosimuloinneissa käytettyjen mittauspisteiden sijainnit. Skenaariot on esitetty kuvissa 7–10.



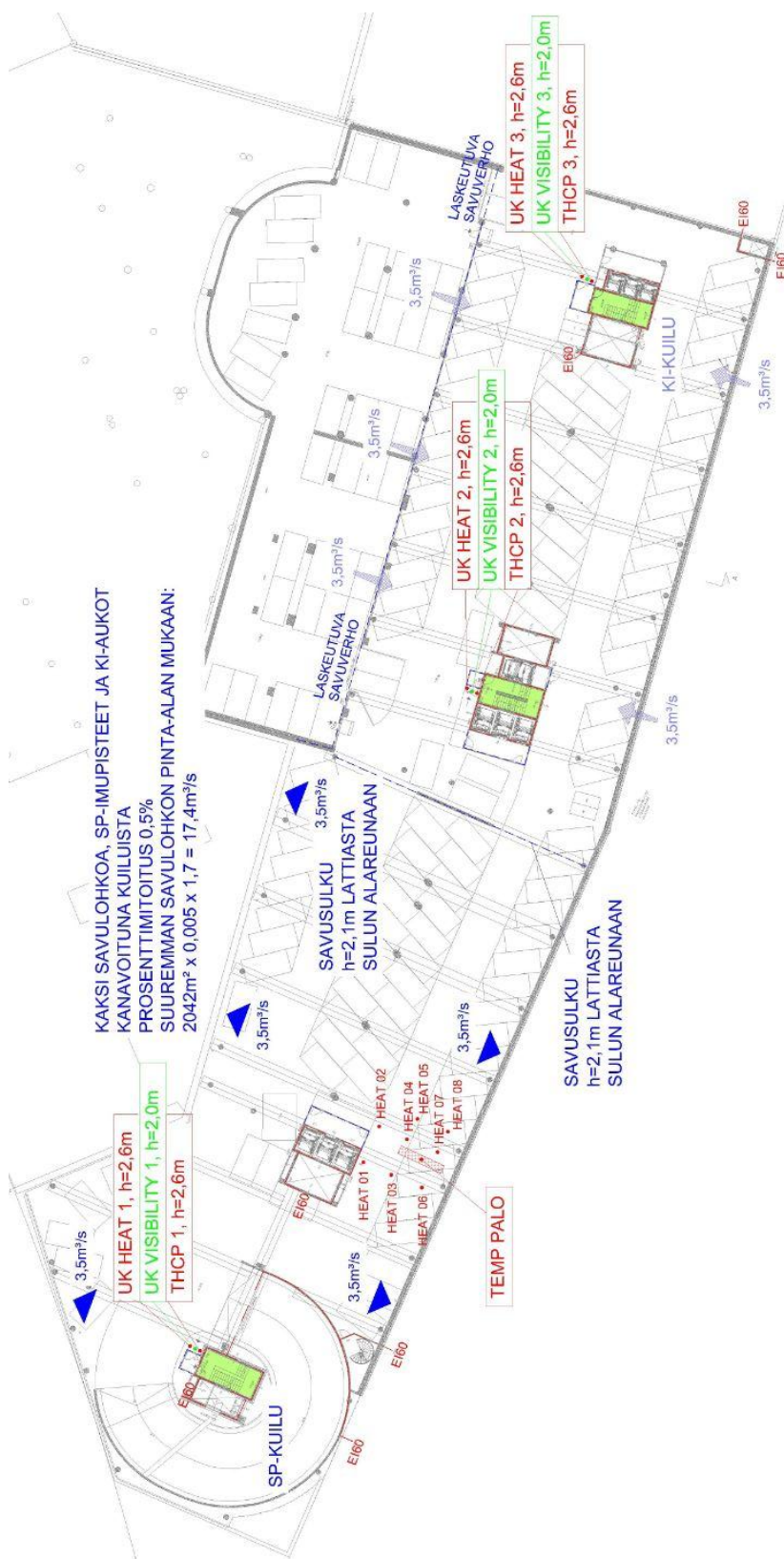
Kuva 7. Skenaari 1 savunpoisto, korvausilma ja mittauspisteet.



Kuva 8. Skenaarion 2 savunpoisto, korvausilma ja mittauspisteet.



Kuva 9. Skenaariion 3 savunpoisto, korvausilma ja mittauspisteet.

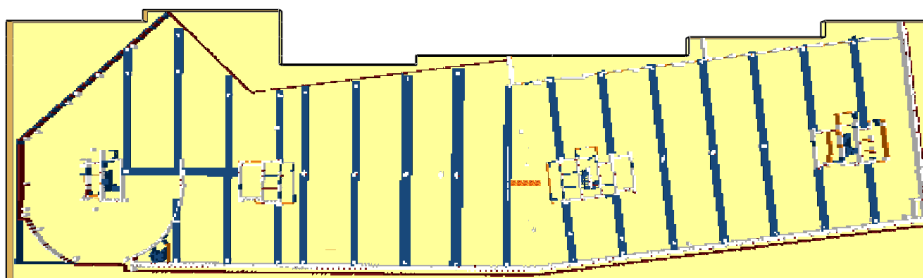


Kuva 10. Skenaarion 4 savunpoisto, korvausilma ja mittauspisteet.

7 Tulokset

7.1 Skenaariot 1 ja 2

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



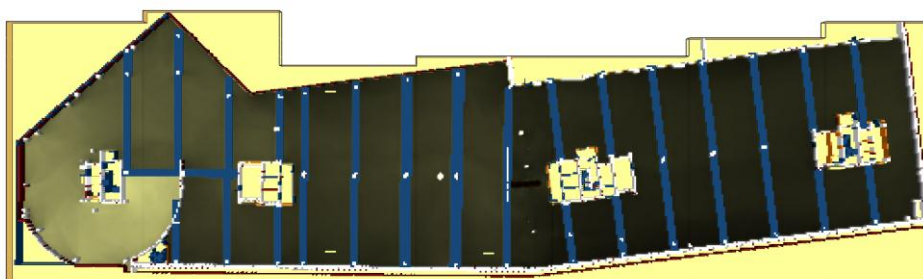
Frame: 0
Time: 0.0

mesh: 1

Kuva 11. Lähtötilanne skenaarioissa 1 ja 2.

Kuvasta 11 nähdään Smokeview-ohjelmalla otettu kuva lähtötilanteesta. Siniset viivat ovat kattopalkkeja, ja tasaiset kulmikkaat reunat pohjapiirustuksen ympärillä ovat laskentasuoluista muodostettu alue. Mitoituspalo näkyy autosuojan keskiosassa. Näissä skenaarioissa savunpoistoon tarkoitettu kuilu sijaitsee oikealla kuvassa, ja korvausilma tuodaan kuilusta kuvassa vasemmalta.

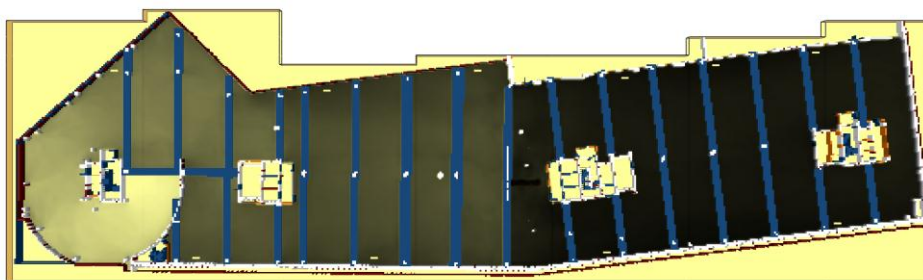
Skenaario 1 - 01.10.2015

Pohja 100
Tas. 100.0

Skenaario 1

Kuva 12. Skenaario 1, savun määrä ajassa 900 sekuntia.

Skenaario 2 - 01.10.2015

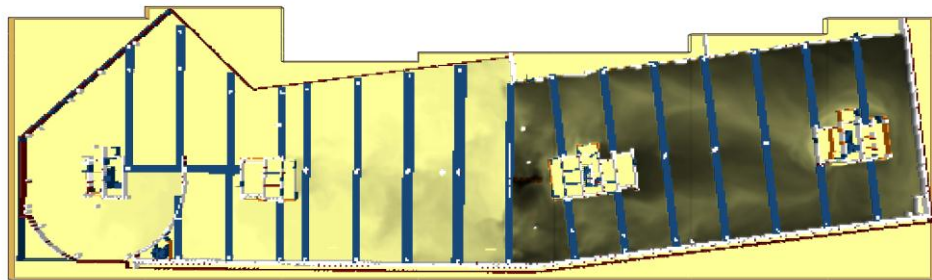
Pohja 100
Tas. 100.0

Skenaario 2

Kuva 13. Skenaario 2, savun määrä ajassa 900 sekuntia.

Savun leviäminen on hillitympää skenaariossa 2 savusulun vuoksi, mutta kyseessä on hyvin minimaalinen ero. Näistä savuisista kuvista (kuvat 12 ja 13) ei yksittäisinä voi juuri tehdä johtopäätöksiä tai savun määrää ei pysty selvittämään, mutta vertailun vuoksi näistä kuvista saadaan havainnollisuutta järjestelmien toiminnasta.

Scenario 1 - 10.10.2015



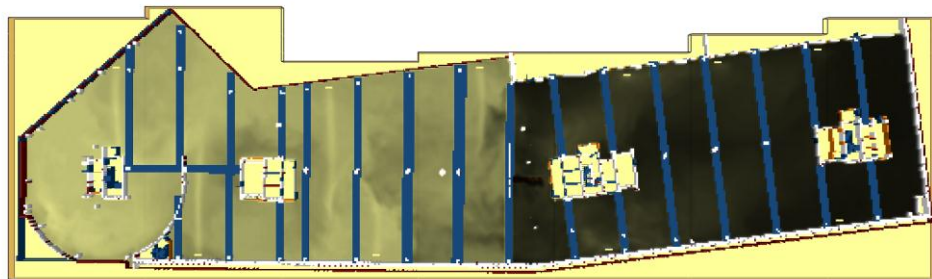
Page 107
Time 1200.0

Page 1

Kuva 14. Skenaario 1, savun määrä ajassa 1 200 sekuntia.

Savunpoisto on ollut päällä viisi minuuttia, ja huomattavissa on suuri ero (kuva 14).

Scenario 2 - 10.10.2015



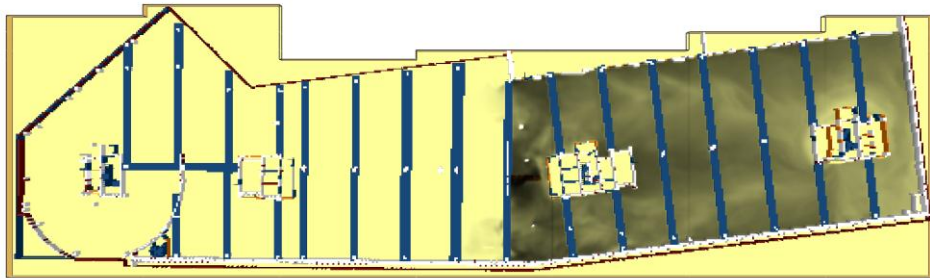
Page 107
Time 1200.0

Page 1

Kuva 15. Skenaario 2, savun määrä ajassa 1 200 sekuntia.

Skenaariossa 2 tilanne näyttää selvästi huonommalta kuin skenaarion 1 suuntapainepuhaltimilla järjestetty savunpoisto. Kanavoitu korvausilma aiheuttaa myös hallitsemattomia turbulenttisia virtauksia autosuojan (kuva 15) vasemmalla puolella, kun puolestaan suuntapainepuhaltimien aiheuttama virtaus on tasaisempaa.

Simulointi 5.1 - 01.10.2015

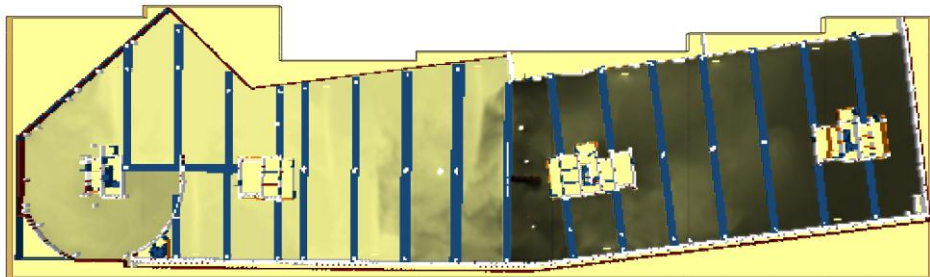
Päivä 1000
Tas. 1000.0

Skenaario 1

Kuva 16. Skenaario 1, savun määrä ajassa 1 800 sekuntia.

Skenaariossa 1 on ollut niin sanottu stabiili tilanne jo viisi minuuttia ennen simuloinnin päättymistä. Simulointi päättyi ajassa 1 800 sekuntia (kuva 16).

Simulointi 5.1 - 01.10.2015

Päivä 1000
Tas. 1000.0

Skenaario 2

Kuva 17. Skenaario 2, savun määrä ajassa 1 800 sekuntia.

Skenaariossa 2 tilanne ei ole yhtä hyvä kuin skenaariossa 1, mutta nähdään että savunpoistojärjestelmä kuitenkin toimii lähes halutulla tavalla (kuva 17). Ajoinyhteyteen jää vielä hieman pyörimään savukaasuja simuloinnin päättyessä. Tähän yhtenä syynä

on yksittäisen korvausilmapisteen kohdistama virtaus, joka aiheuttaa sen, että savukaasut jäävät pyörimään ajorampin kohdalla.

Simulaatio 15 - 02/10/2018



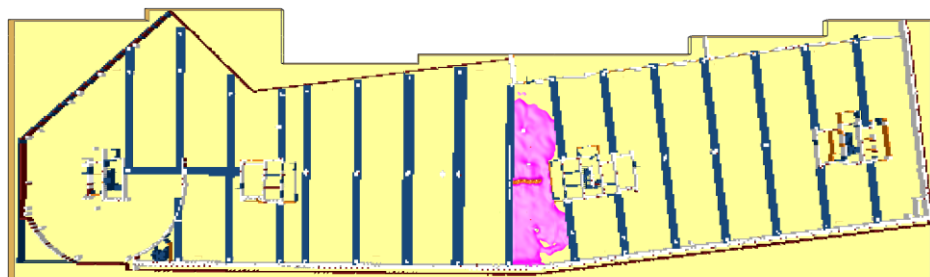
Page 100
Time 00:00

Page 1

Kuva 18. Skenaario 1, lämpötila palon läheisyydessä ajassa 900 sekuntia.

Värillinen alue kuvaa pinta-alaa, jossa lämpötila on yli 100 °C (kuvat 18–21).

Simulaatio 15 - 02/10/2018



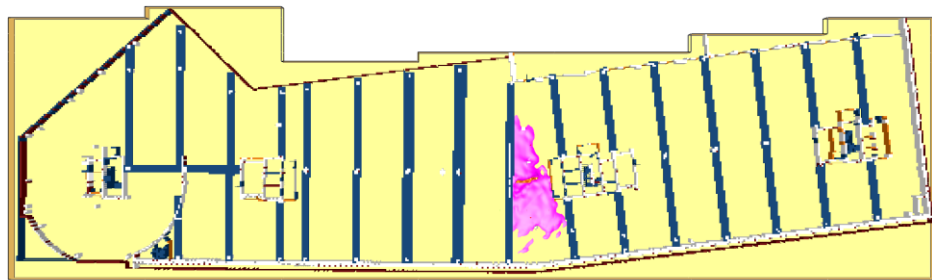
Page 100
Time 00:00

Page 1

Kuva 19. Skenaario 2, lämpötila palon läheisyydessä ajassa 900 sekuntia.

Skenaariossa 2 huomataan, että 900 sekunnin kohdalla lämpötilat ovat hieman suuremmat johtuen savusulusta (kuva 19).

Simulointi 5.1 - 01.10.2019



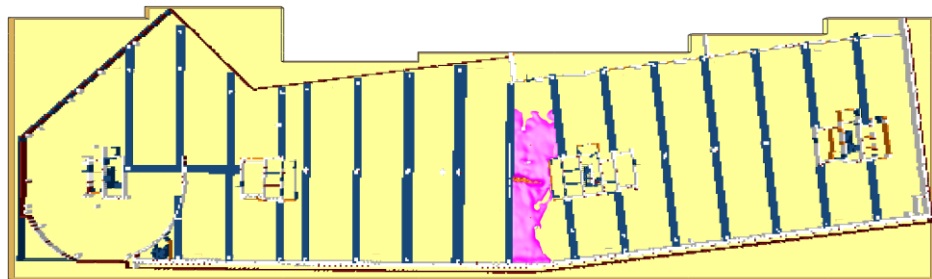
Päivä 007
Tila 100%

Simulointi 5.1 - 01.10.2019

Kuva 20. Skenaario 1, lämpötila palon läheisyydessä ajassa 1 200 sekuntia.

Savunpoiston kytkeminen poistaa lämpöä mitoituspalon läheisyydestä (kuva 20).

Simulointi 5.1 - 01.10.2019

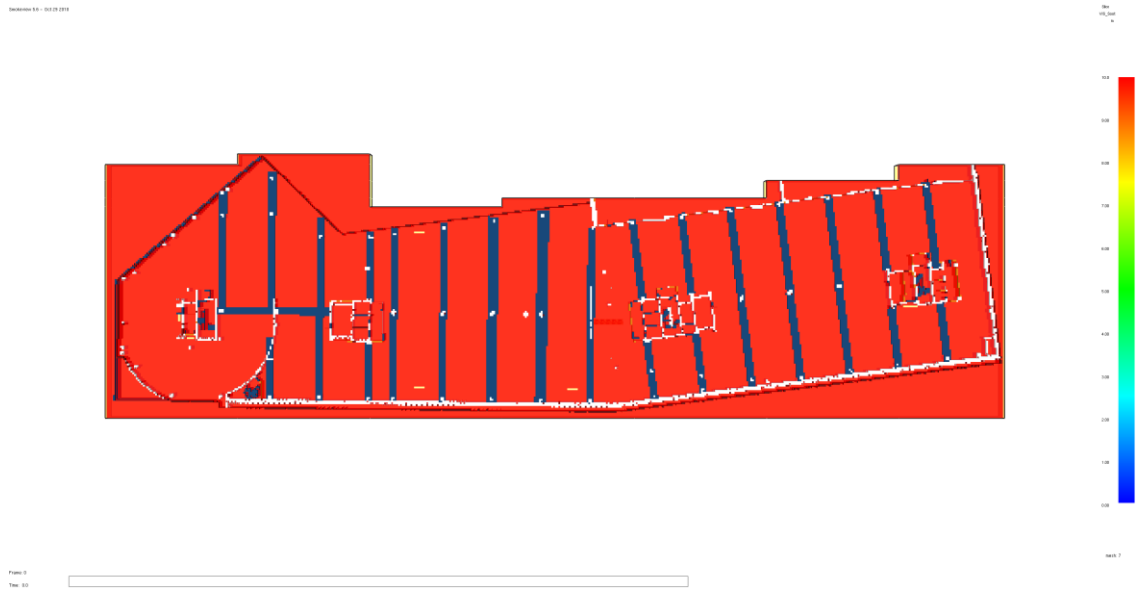


Päivä 007
Tila 100%

Simulointi 5.1 - 01.10.2019

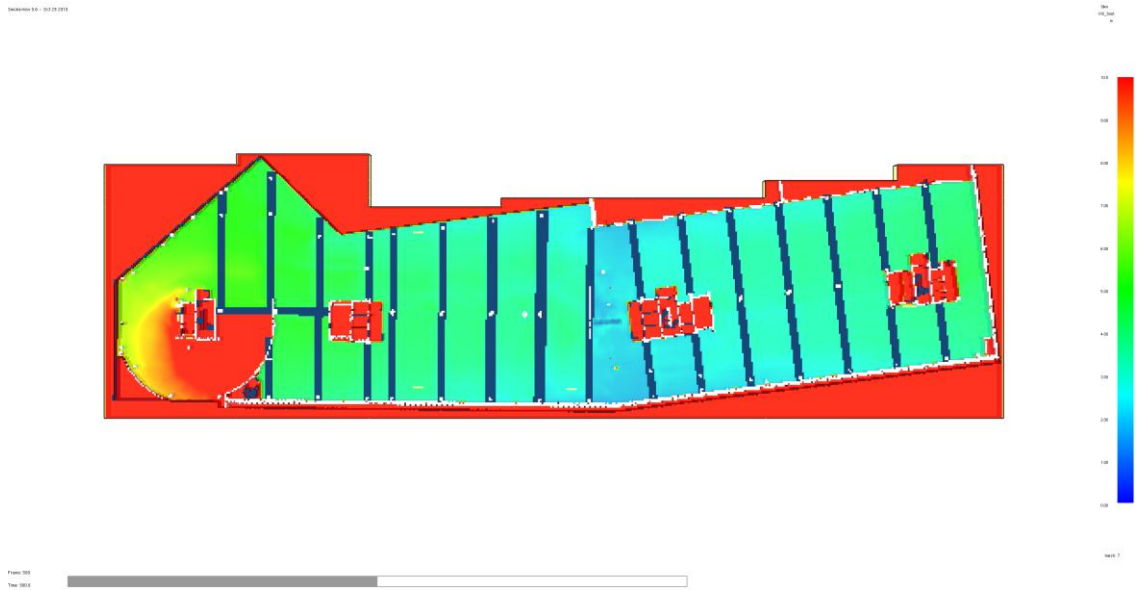
Kuva 21. Skenaario 2, lämpötila palon läheisyydessä ajassa 1 200 sekuntia.

Skenaariossa 1 kuumien savukaasujen poistaminen mitoituspalon läheisyydestä on tehokkaampaa kuin skenaariossa 2 (kuva 21).



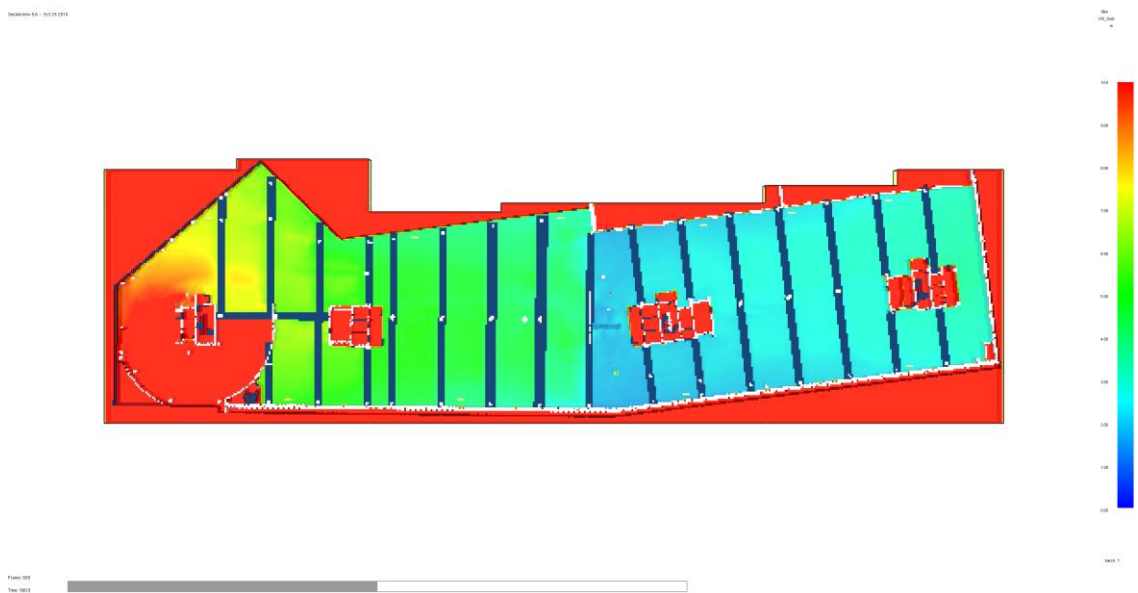
Kuva 22. Skenaario 1, näkyvyys lähtötilanteessa.

Kuvasta 22 nähdään näkyvyys autosuojassa lähtötilanteessa. Molemmissa skenaarioissa 1 ja 2 lähtötilanne on sama. Punainen alue kuvaa vähintään kymmenen metrin näkyvyyttä. Näkyvyyttä on mitattu kahden metrin korkeudelta [15, s. 57–58].



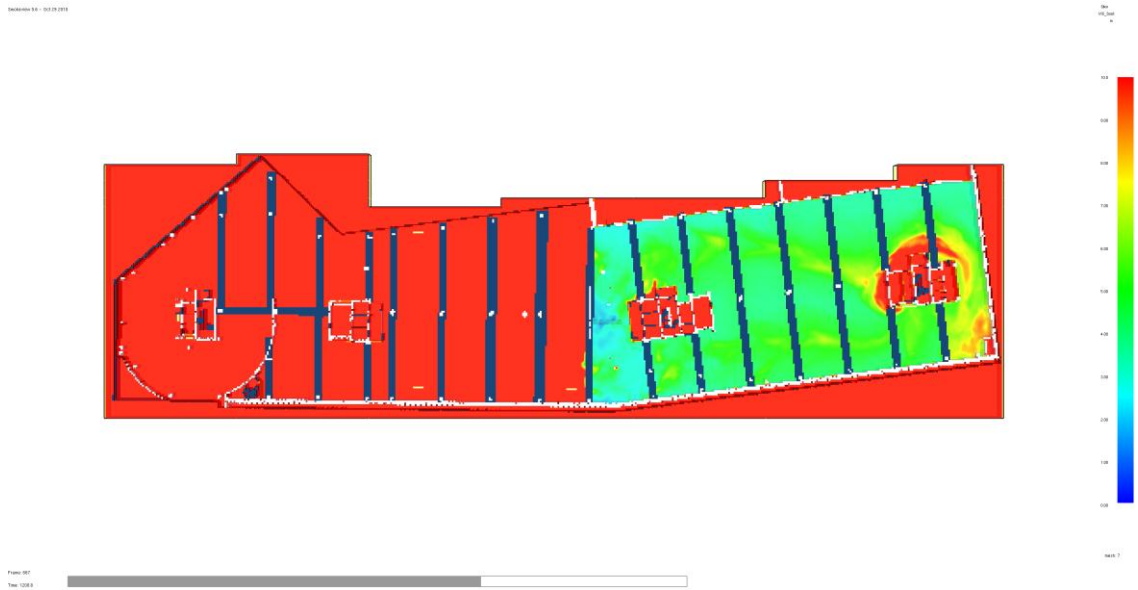
Kuva 23. Skenaario 1, näkyvyys ajassa 900 sekuntia.

Ennen savunpoiston kytkemistä huomataan, että savu on levinnyt koko autosuojaan ja näkyvyydet ovat parhaimmillaan viiden metrin luokkaa, mikä tarkoittaa, että ilman savunpoistoa palokunnan olisi erittäin haastavaa päästä sammuttamaan paloa (kuva 23).



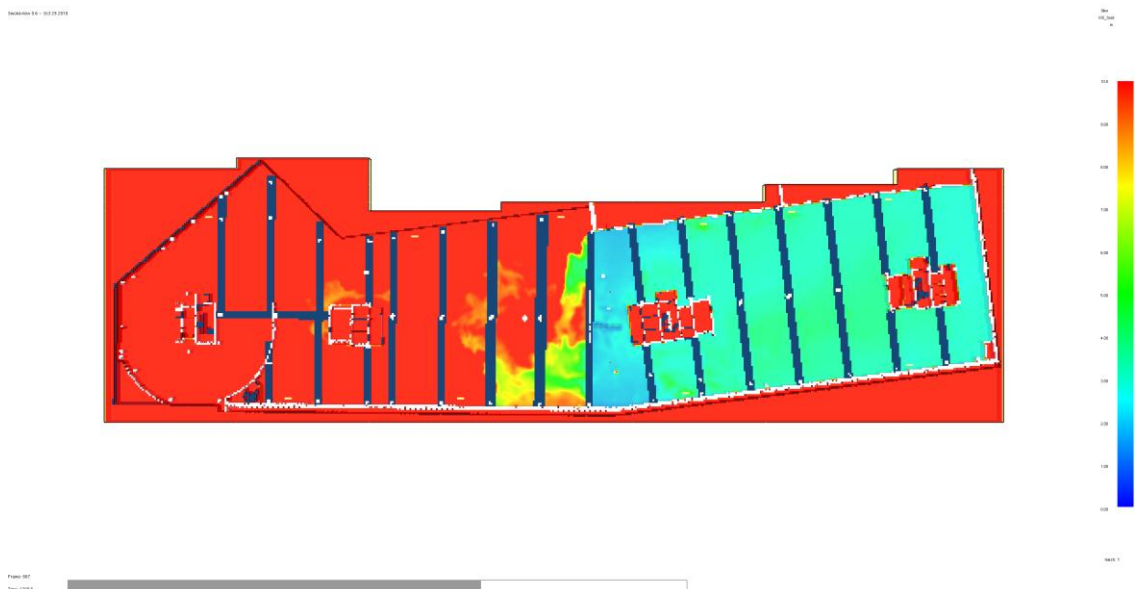
Kuva 24. Skenaario 2, näkyvyys ajassa 900 sekuntia.

Näkyvyydet ovat lähes samat skenaariossa 2 (kuva 24). Pieni ero johtuu savusulusta.



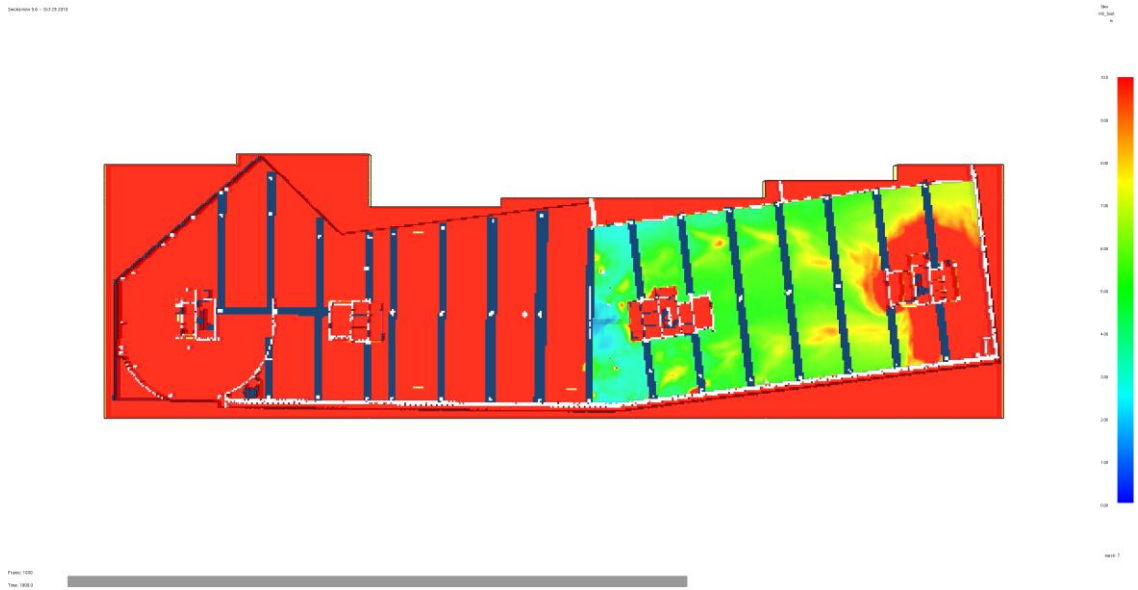
Kuva 25. Skenaario 1, näkyvyys ajassa 1 200 sekuntia.

Viiden minuutin jälkeen savunpoiston käynnistymisestä kuvassa vasemmalle puolelle autosuojaa on saatu näkyvyyden kannalta erittäin hyvät olosuhteet (kuva 25).



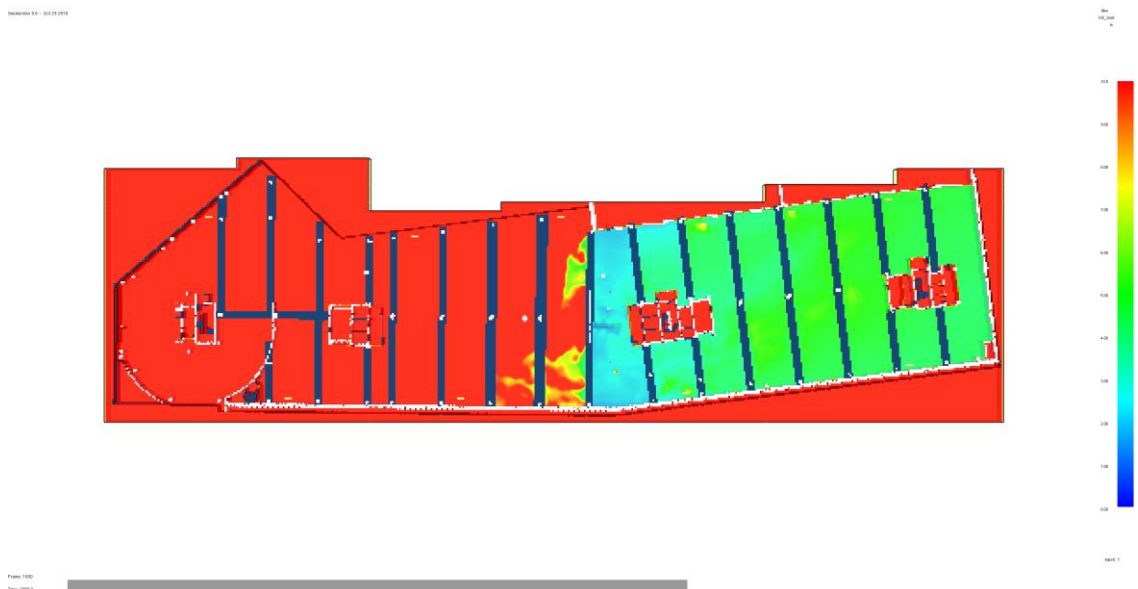
Kuva 26. Skenaario 2, näkyvyys ajassa 1 200 sekuntia.

Skenaariossa 2 savunpoistolla on saatu myös näkyvyyden kannalta hyvät olosuhteet autosuojaan sammutushyökkäyksen kannalta (kuva 26), mutta tilanne ei ole yhtä hyvä kuin skenaariossa 1.



Kuva 27. Skenaario 1, näkyvyys ajassa 1 800 sekuntia.

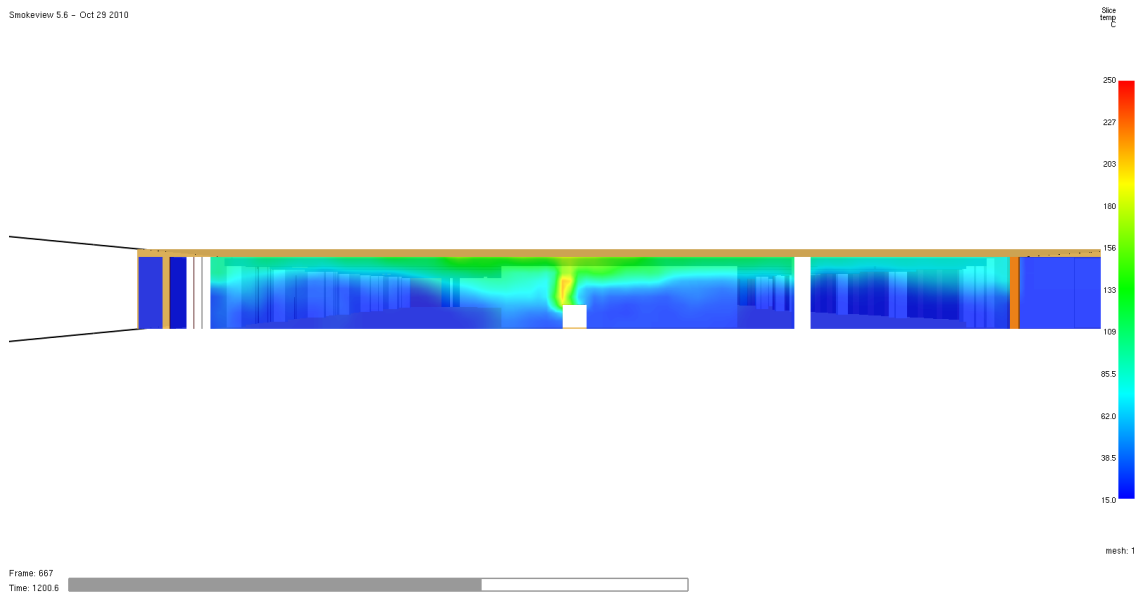
Simuloinnin päättyessä tilanne on ollut stabiili jo viiden minuutin ajan, ja näkyvyys on erittäin hyvä skenaariossa 1 (kuva 27).



Kuva 28. Skenaario 2, näkyvyys ajassa 1 800 sekuntia.

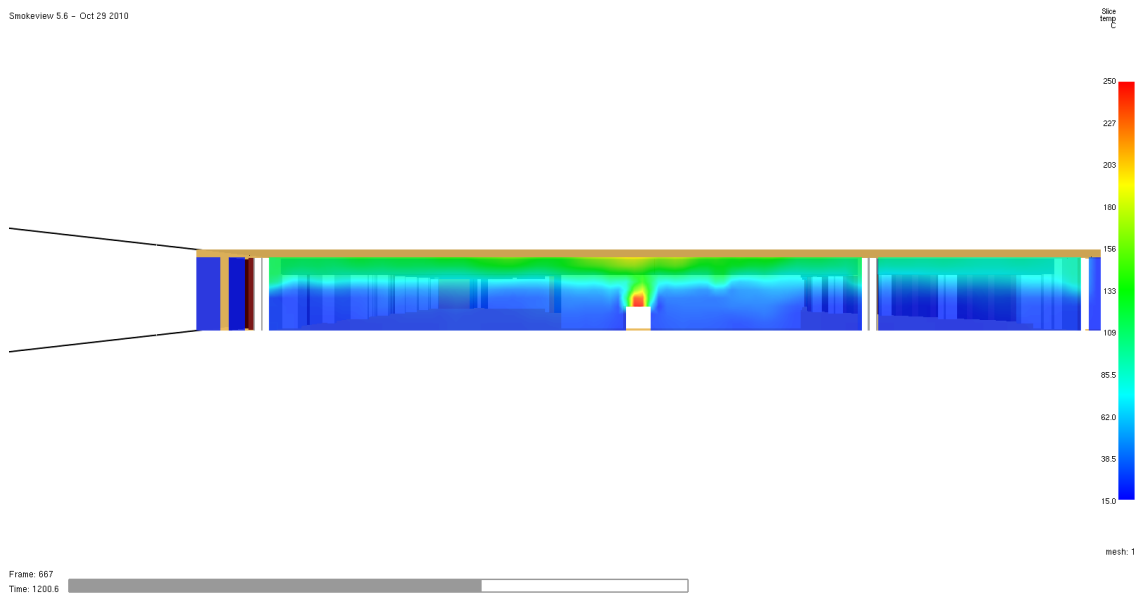
Simuloinnin päättyessä näkyvyys on hyvä myös skenaariossa 2 (kuva 28). Tilanne on kuitenkin heikompi kuin skenaariossa 1. Näkyvyyden osalta huomataan, että ajorampin kohdalle skenaariossa 2 jääneiden savukaasujen määrä on hyvin pieni, sillä näkyvyys näyttää olevan yli 10 metriä.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Kuva 29. Skenaario 1, y-akselin suuntainen lämpötilaleikkaus ajassa 1 200 sekuntia.

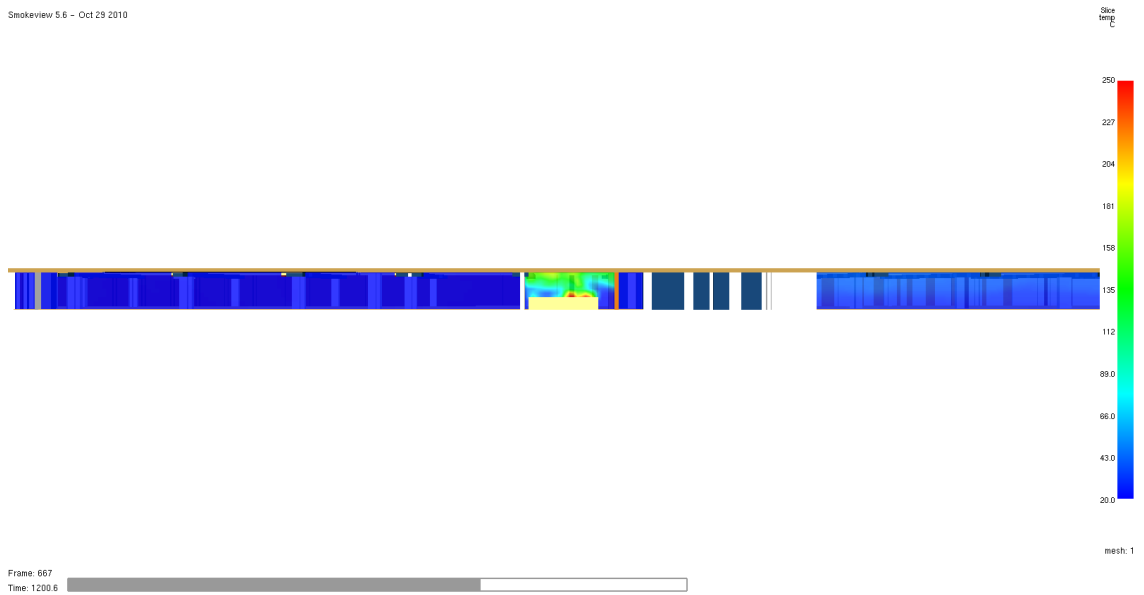
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Kuva 30. Skenaario 2, y-akselin suuntainen lämpötilaleikkaus ajassa 1 200 sekuntia.

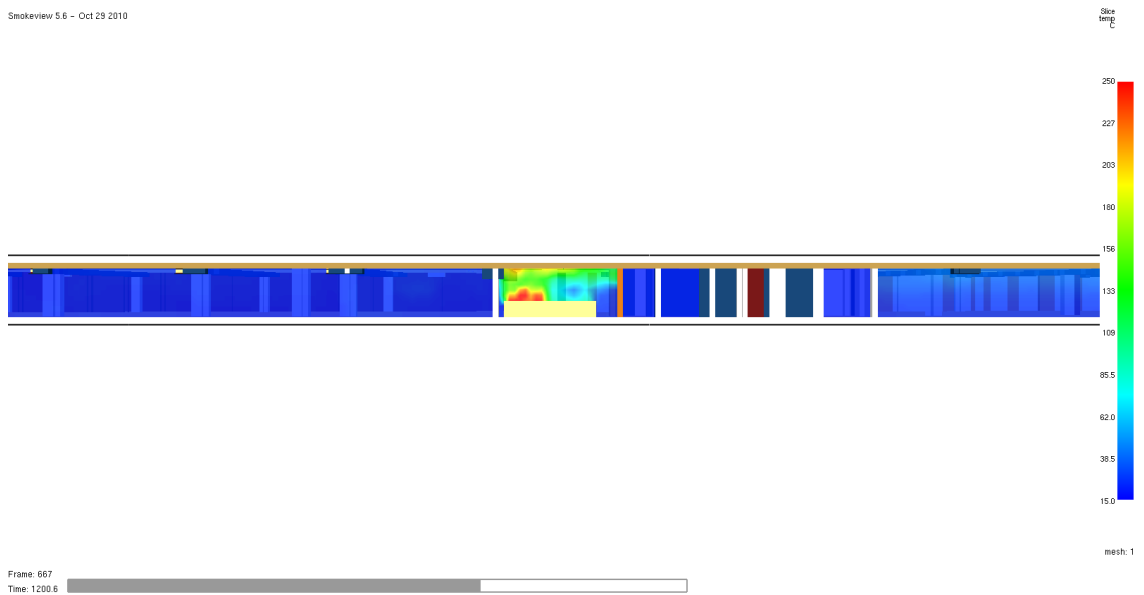
Leikkauskuvien (kuvat 29 ja 30) osalta huomataan, että skenaariossa 1 lämpötilat ovat alhaisemmat. Punainen alue kuvaa lämpötilaa, joka on selvästi yli 250 °C.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



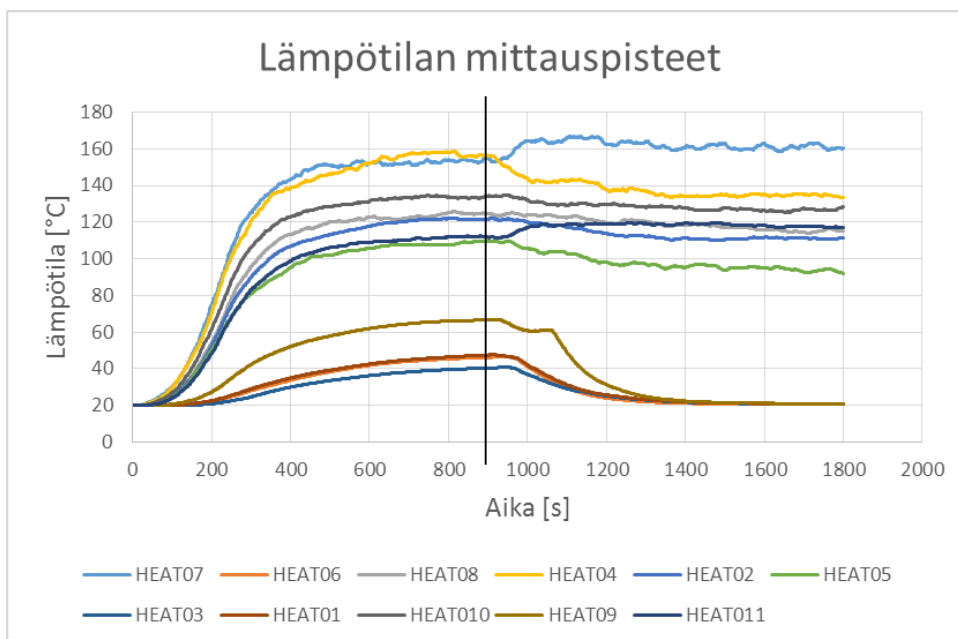
Kuva 31. Skenaario 1, x-akselin suuntainen lämpötilaleikkaus ajassa 1 200 sekuntia.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

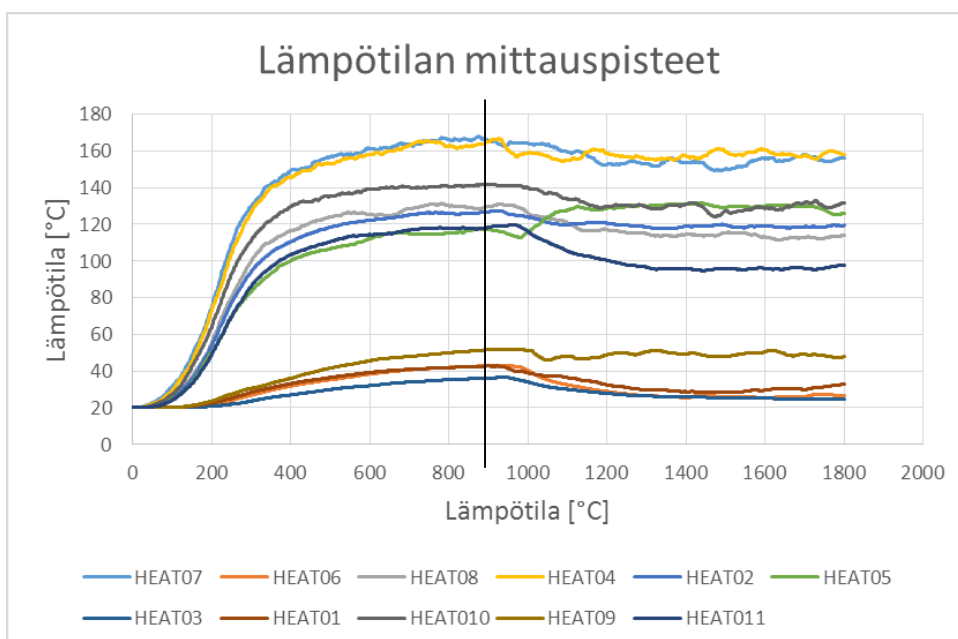


Kuva 32. Skenaario 2, x-akselin suuntainen lämpötilaleikkaus ajassa 1 200 sekuntia.

Kuten edellisissä leikkauskuvissa lämpötilat ovat alhaisemmat skenaariossa 1, mutta näistä leikkauskuvista (kuvat 31 ja 32) eroa ei erota niin selkeästi. Punainen alue kuvaa lämpötilaa, joka on selvästi yli 250 °C.



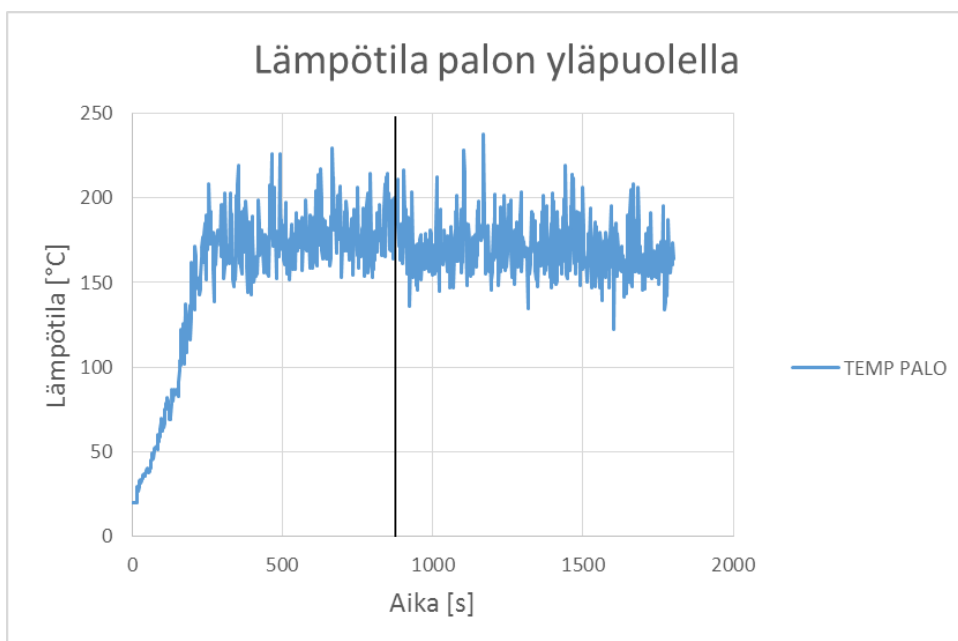
Kuva 33. Skenaario 1, lämpötilan mittauspisteet.



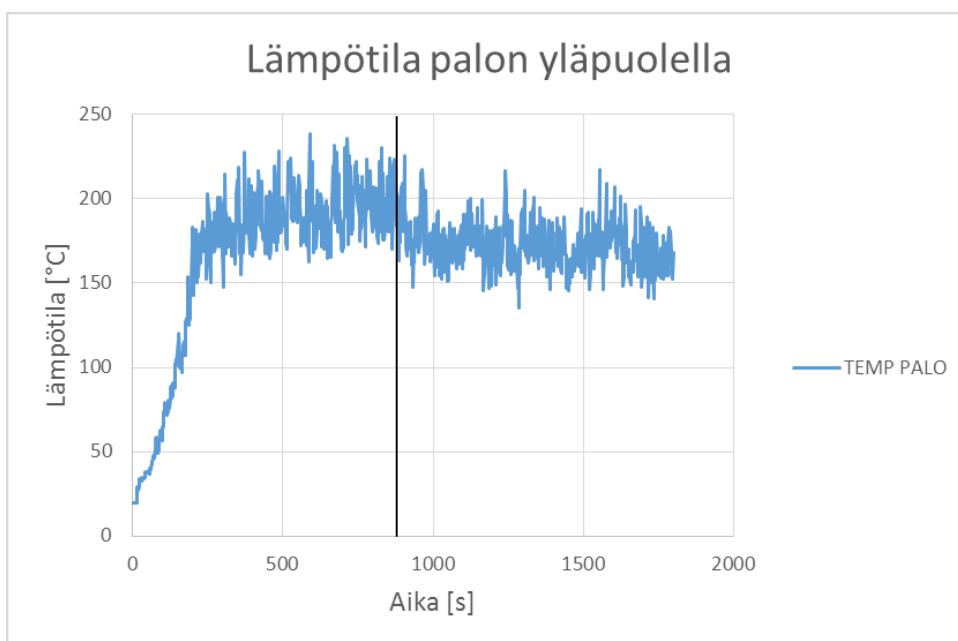
Kuva 34. Skenaario 2, lämpötilan mittauspisteet.

Mittauspisteiden osalta mitoituspalon läheisyydessä ei havaita selkeitä eroja (kuvat 33 ja 34). Neljä mittaria, jotka sijaitsevat seinärakenteen toisella puolella palosta osoittavat selkeästi pienempiä lämpötila-arvoja. Skenaariossa 2 näiden samojen mittareiden lämpötilat ovat alhaisempia johtuen katossa olevasta savusulkurakenteesta. Tuloksissa

kaikkien kuvaajien osalta pystyviiva kuvaa aikaa, jolloin savunpoisto käynnistyy eli, ajassa 900 sekuntia.



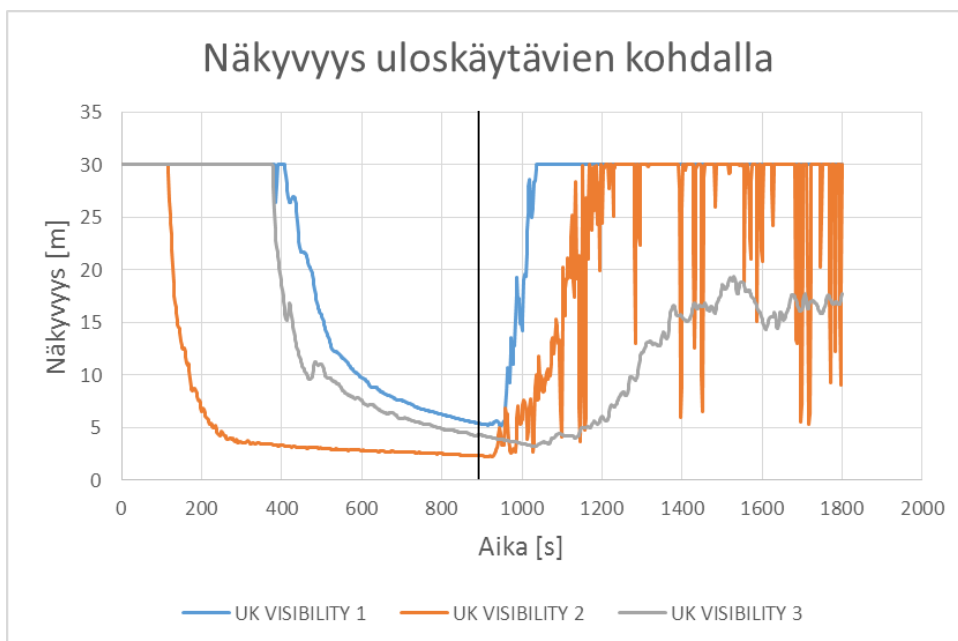
Kuva 35. Skenaario 1, lämpötila palon yläpuolella.



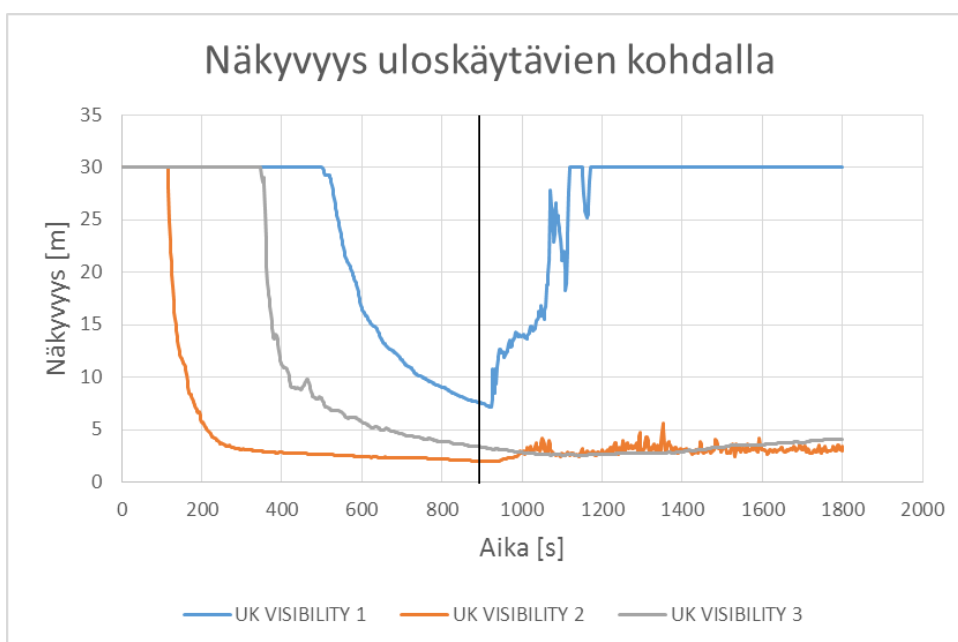
Kuva 36. Skenaario 2, lämpötila palon yläpuolella.

Skenaarioissa 1 ja 2 ei savunpoiston päälle kytkemisen jälkeen palon yläpuolella lämpötilaeroissa ole juurikaan eroavaisuuksia (kuvat 35 ja 36). Tämä johtuu osittain siitä,

että mitoituspalon sijainti on erittäin haastavassa paikassa ja sitä ympäröivät rakenteet vaikuttavat savunpoistolaitteistojen aiheuttamiin virtauksiin. Skenaariossa 2 lämpötila on hieman alhaisempi savunpoiston jälkeen johtuen läheisestä savunpoiston imupisteen sijainnista palon lähellä. Lämpötilat ovat todellisuudessa korkeammat palon yläpuolella, sillä mittari TEMP PALO mittaa savukaasujen lämpötilaa.

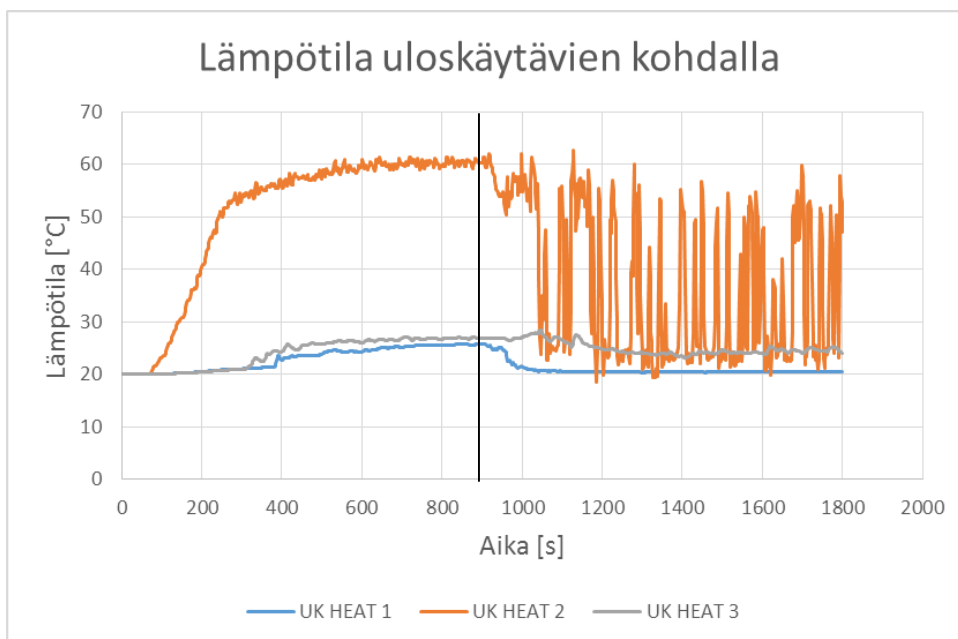


Kuva 37. Skenaario 1, näkyvyys uloskäytävien kohdalla.

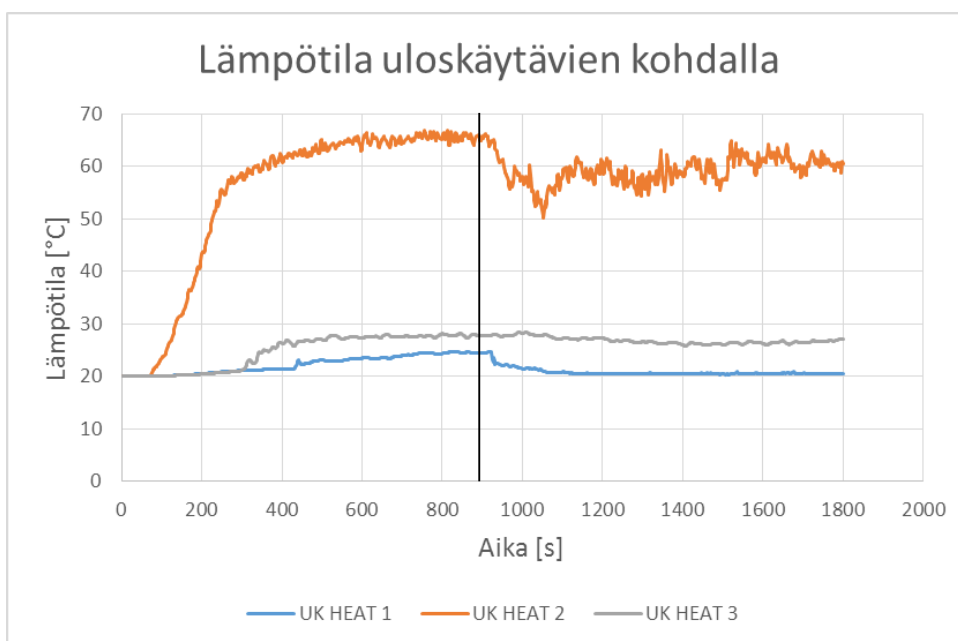


Kuva 38. Skenaario 2, näkyvyys uloskäytävien kohdalla.

Ennen savunpoiston kytkemistä näkyvyydet putoavat selvästi alle kymmeneen metriin molemmissa skenaarioissa (kuvat 37 ja 38). Skenaariossa 2 savun leviäminen autosuojaan on hieman hillitympää savusulun ansiosta. Ero kuitenkin hyvin pieni, koska mitoituspalo sijaitsee savusulun vieressä, joten savusulun toiminta ei ole ideaalinen tässä tapauksessa. Skenaariossa 2 vain autosuojan ajorampin läheinen porrashuone saadaan käyttökelpoiseksi, kun taas skenaariossa 1 näkyvyydet ovat huomattavasti paremmat kaikissa mittauspisteissä. Mitoituspalon vieressä olevan keskimmäisen porrashuoneen mittari skenaariossa 1 antaa ailahtelevia tuloksia johtuen siihen kohdistuvasta kovasta pyörivästä virtauksesta. Kyseinen porrashuone ei ole käyttökelpoinen. Molempien skenaarioiden näkyvyyksien perusteella voidaan kuitenkin todeta, että palokunta pystyy savunpoiston ansiosta helpommin lähestymään paloa joko ajorampin puoleisesta porrashuoneesta tai ajorampin läheisyydessä olevasta sammutusreittiportaasta, joka on esitetty paloteknisessä suunnitelmassa, joka on työn liitteenä.

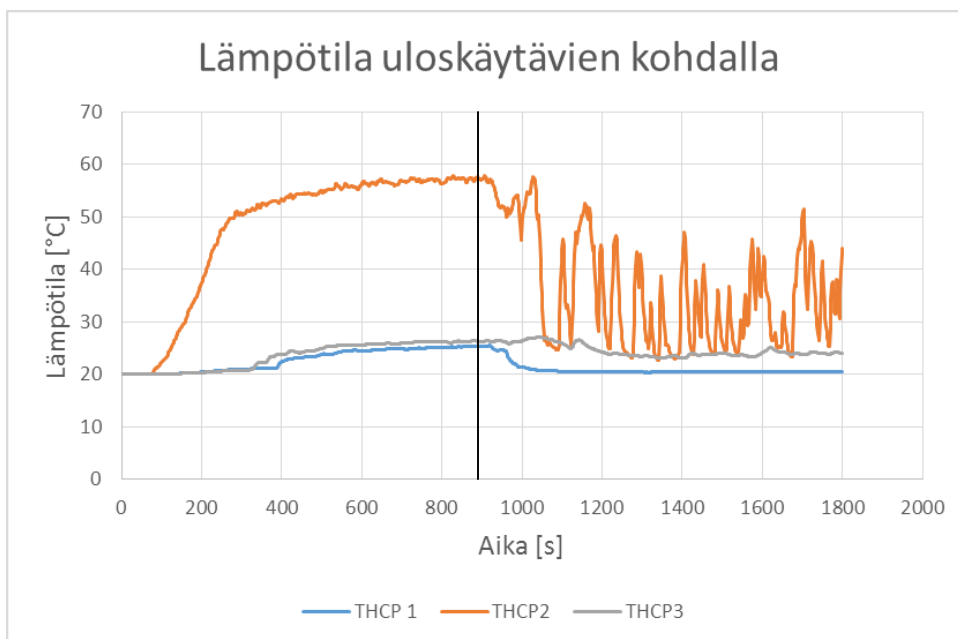


Kuva 39. Skenaario 1, lämpötila uloskäytävien kohdalla.

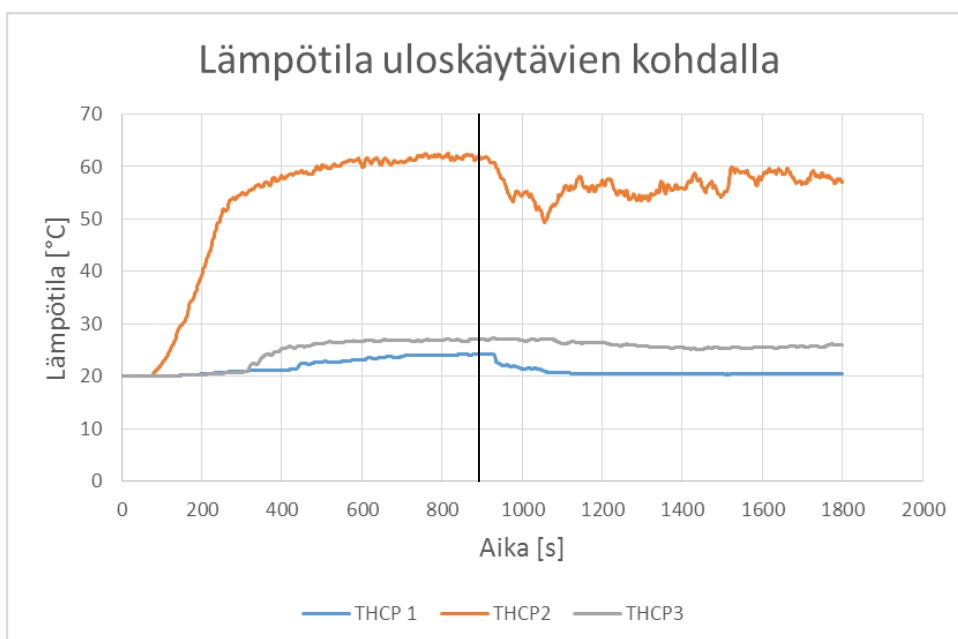


Kuva 40. Skenaario 2, lämpötila uloskäytävien kohdalla.

Lämpötilojen osalta ei ole huomattavia eroja uloskäyntien kohdalla lukuun ottamatta skenaariossa 1 olevaa mittaria UK HEAT 2, joka ailahtelee kovien pyörivien virtausten vuoksi, kuten näkyvyyksien kohdalla (kuvat 39 ja 40).



Kuva 41. Skenaario 1, lämpötila uloskäytävien kohdalla eri mittarilla mitattuna.

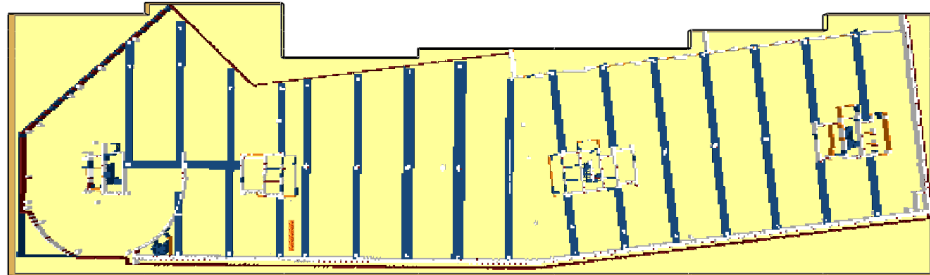


Kuva 42. Skenaario 2, lämpötila uloskäytävien kohdalla eri mittarilla mitattuna.

Lämpötilojen osalta ei ole huomattavia eroja uloskäyntien kohdalla lukuun ottamatta lämpötilamittaria UK THCP 2 (kuvat 41 ja 42). Samasta syystä kuten jo edellä mainituissa tapauksissa, mutta vaihtelut eivät ole niin suuria, koska kyseessä on erilainen lämpötilamittari.

7.2 Skenaariot 3 ja 4

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



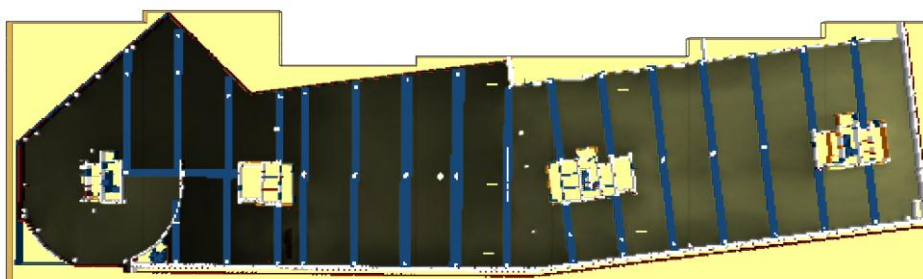
Frame: 0
Time: 0.0

mesh: 1

Kuva 43. Lähtötilanne skenaarioissa 3 ja 4.

Kuvasta 43 nähdään Smokeview-ohjelmalla otettu kuva lähtötilanteesta. Siniset viivat ovat kattopalkkeja, ja tasaiset kulmikkaat reunat pohjapiirustuksen ympärillä ovat laskentasuista muodostettu alue. Mitoituspalo näkyy autosuojan ajorampin vieressä. Näissä skenaarioissa savunpoistoon tarkoitettu kuilu sijaitsee vasemmalla kuvassa, ja korvausilma tuodaan kuilusta kuvassa oikealta.

Simulointi 3.1 - 01.10.2015

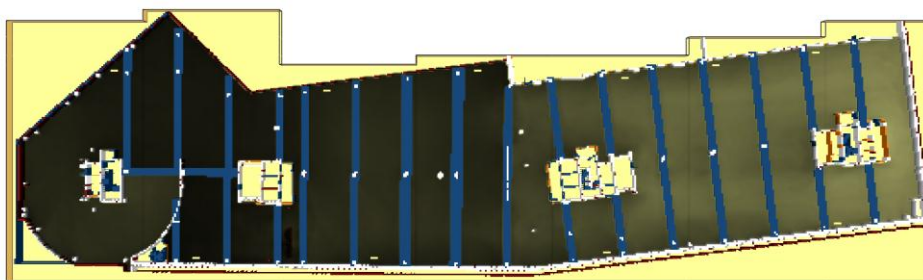


Paperi 100
Tee 100%

Sheet 1

Kuva 44. Skenaario 3, savun määrä ajassa 900 sekuntia.

Simulointi 3.1 - 01.10.2015



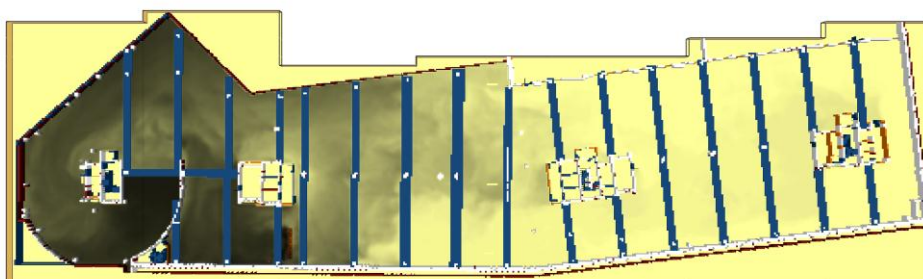
Paperi 100
Tee 100%

Sheet 1

Kuva 45. Skenaario 4, savun määrä ajassa 900 sekuntia.

Molemmissa skenaarioissa (kuvat 44 ja 45) koko autosuoja täyttyy 15 minuutin kuluttua savusta, kuten edellisissä skenaarioissa. Skenaarion 4 savusulku hieman rajoittaa savun leviämistä, mutta todella vähäisissä määrin. Ilman savunpoistoa mitoituspalon läheisyyteen olisi vaikea päästä sammuttamaan paloa.

Simulointi 5.1 - 01.10.2015



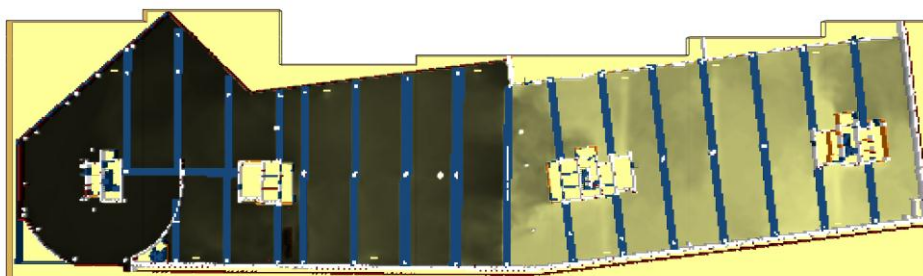
Page 007
Time 1200.0

Page 1

Kuva 46. Skenaario 3, savun määrä ajassa 1 200 sekuntia.

Skenaariossa 3 nähdään huomattava muutos viiden minuutin kuluttua savunpoiston käynnistymisestä (kuva 46).

Simulointi 5.1 - 01.10.2015



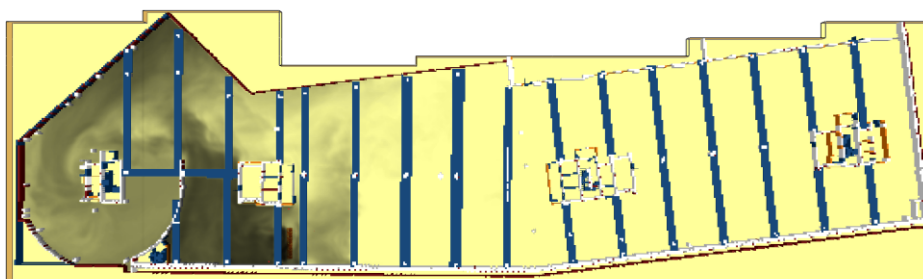
Page 007
Time 1200.0

Page 1

Kuva 47. Skenaario 4, savun määrä ajassa 1 200 sekuntia.

Skenaariossa 4 tilanne näyttää selvästi huonommalta kuin skenaarion 3 suuntapainepuhaltimilla järjestetty savunpoisto, mutta olosuhteet ovat parantuneet silti huomattavasti (kuva 47).

Simulointi 3.1 - 01.10.2015



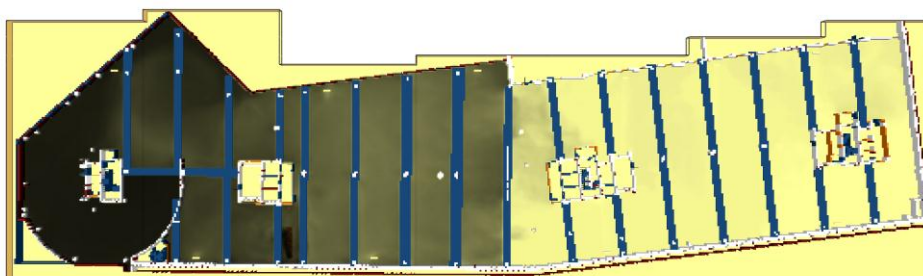
Paperi 1000
Tee: 1000.0

0.000

Kuva 48. Skenaario 3, savun määrä ajassa 1 800 sekuntia.

Skenaariossa 3 on ollut niin sanottu stabiili tilanne jo lähes viisi minuuttia ennen simuloinnin päättymistä. Simulointi päättyi ajassa 1800 sekuntia (kuva 48).

Simulointi 3.1 - 01.10.2015



Paperi 1000
Tee: 1000.0

0.000

Kuva 49. Skenaario 4, savun määrä ajassa 1 800 sekuntia.

Skenaarion 4 osalta savunpoisto toimii, mutta viitteet ovat samat kuin skenaarioiden 1 ja 2 välillä (kuva 49). Suuntapainepuhaltimia apuna käytetyssä skenaariossa 3 savunpoisto vaikuttaa selvästi tehokkaammalta.

Simulointi 5.1 - 01.12.2015



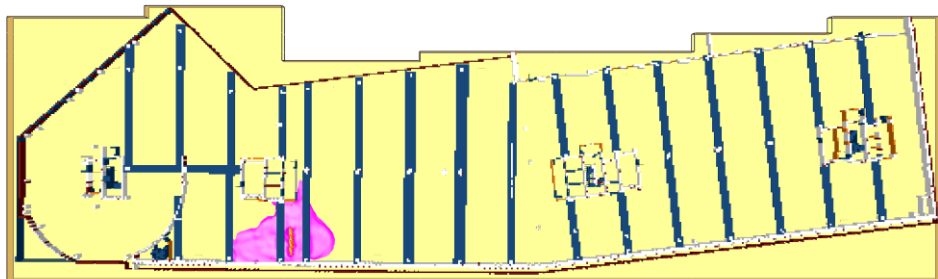
Paino 100
Tila 100.0

kuva 1

Kuva 50. Skenaario 3, lämpötila palon läheisyydessä ajassa 900 sekuntia.

Värillinen alue kuvaa pinta-alaa, jossa lämpötila on yli 100 °C (kuvat 50–53).

Simulointi 5.1 - 01.12.2015



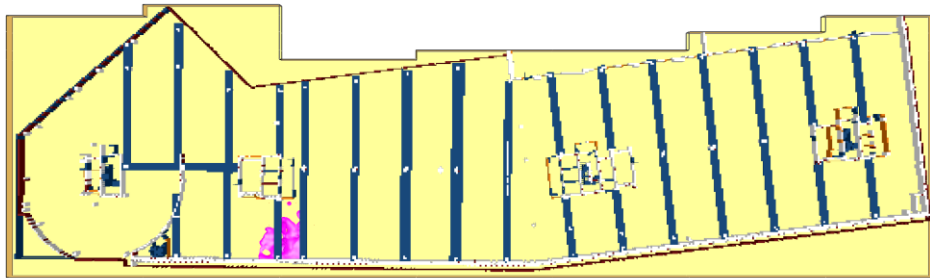
Paino 100
Tila 100.1

kuva 2

Kuva 51. Skenaario 4, lämpötila palon läheisyydessä ajassa 900 sekuntia.

Ennen savunpoistoa ei näiden lämpötilakuvien osalta ole havaittavissa eroja skenaarioiden välillä (kuvat 50 ja 51).

Simulointi 5.1 - 01.10.2015



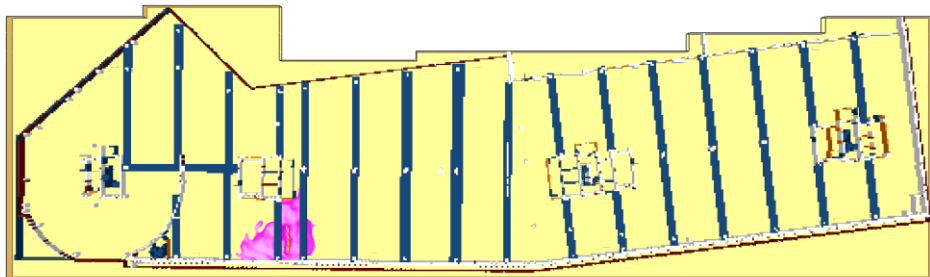
Paino 107
Tee 1200

kuva 1

Kuva 52. Skenaario 3, lämpötila palon läheisyydessä ajassa 1 200 sekuntia.

Skenaariossa 3 nähdään selvä lasku lämpötilojen osalta, kun savunpoisto on ollut käynnissä viisi minuuttia (kuva 52).

Simulointi 5.1 - 01.10.2015

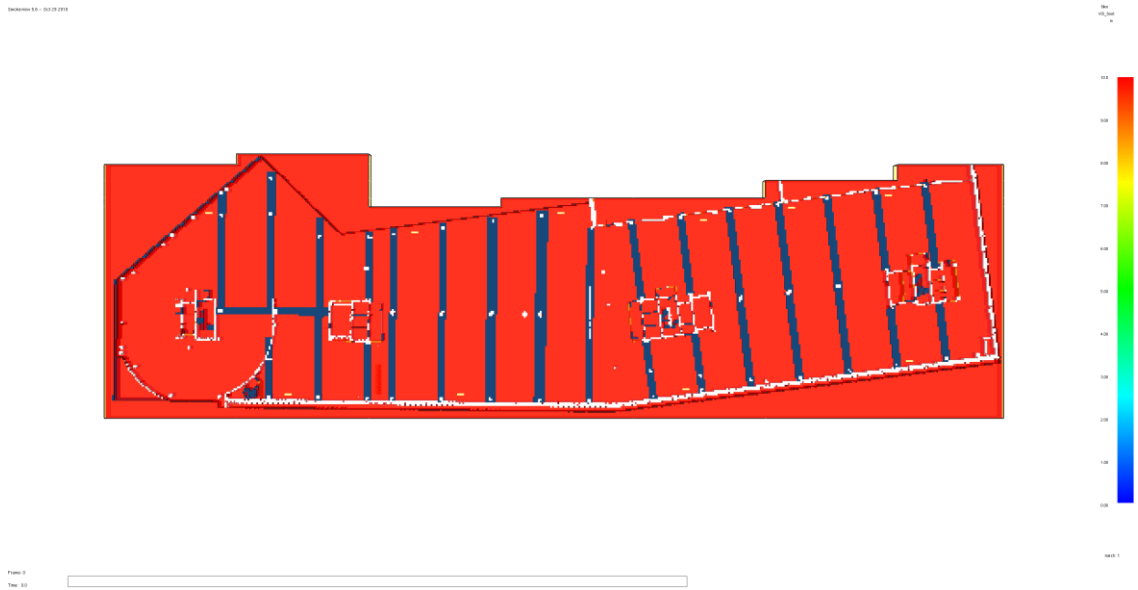


Paino 107
Tee 1200

kuva 1

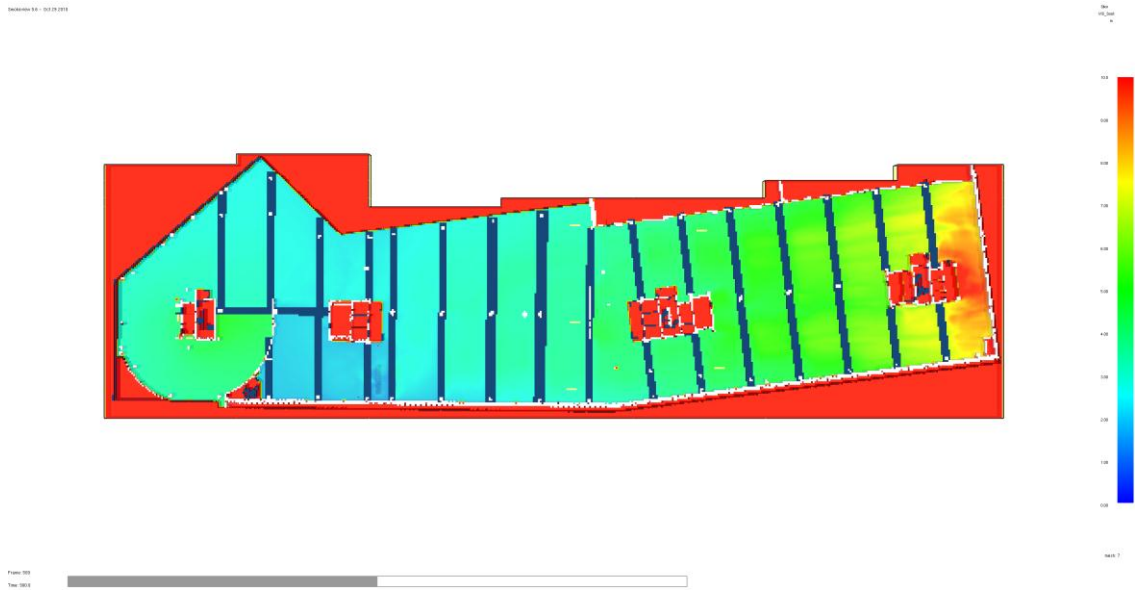
Kuva 53. Skenaario 4, lämpötila palon läheisyydessä ajassa 1 200 sekuntia.

Myös skenaarion 4 osalta lämpötilat laskevat savunpoiston jälkeen, mutta eivät niin tun-
tuvasti kuin skenaariossa 3 (kuva 53).



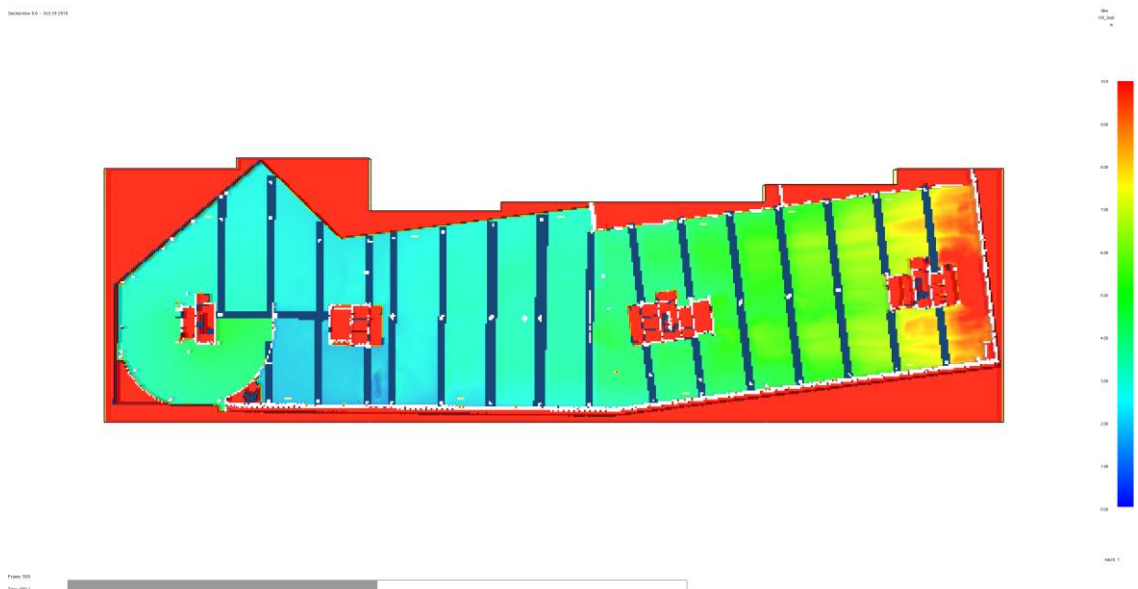
Kuva 54. Skenaario 3, näkyvyys lähtötilanteessa.

Kuvasta 54 nähdään näkyvyys autosuojassa lähtötilanteessa. Molemmissa skenaarioissa 3 ja 4 lähtötilanne on sama. Punainen alue kuvaa vähintään kymmenen metrin näkyvyyttä. Näkyvyyttä on mitattu kahden metrin korkeudelta [15, s. 57–58].



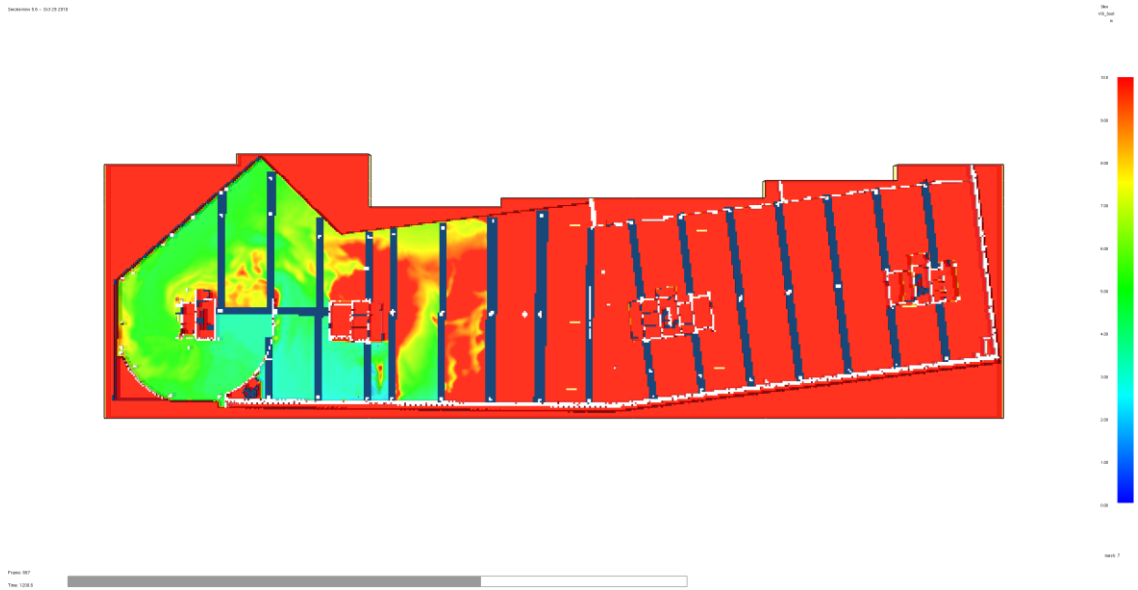
Kuva 55. Skenaario 3, näkyvyys ajassa 900 sekuntia.

Näkyvyydet laskevat matalaksi myös näissä skenaarioissa koko autosuojan osalta ennen savunpoistoa, ja olosuhteet ovat haastavat (kuva 55).



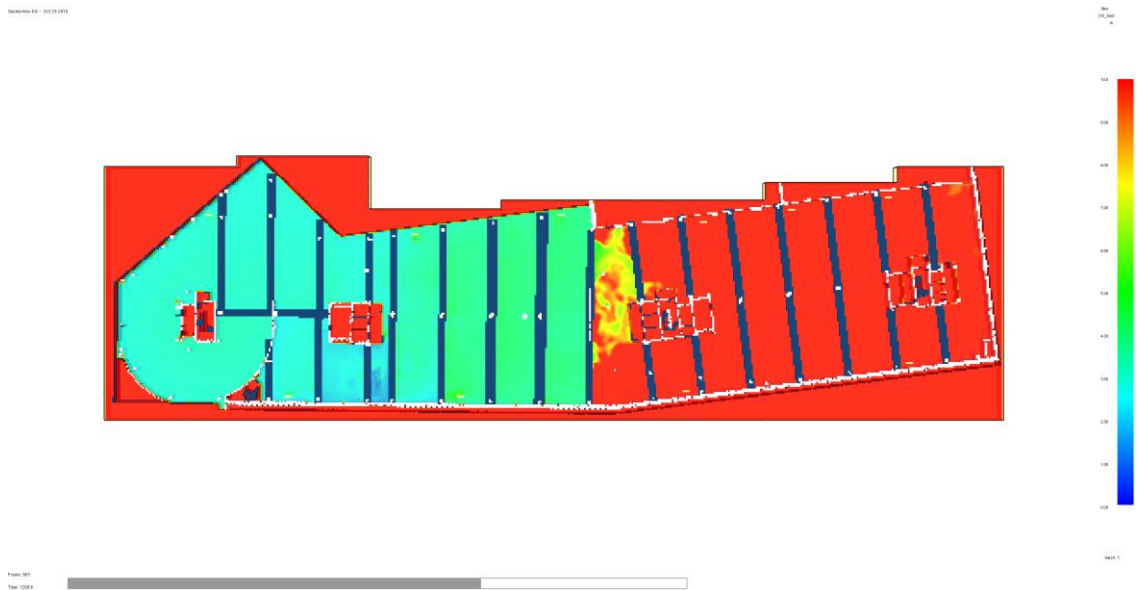
Kuva 56. Skenaario 4, näkyvyys ajassa 900 sekuntia.

Näkyvyydet ennen savunpoistoa ovat lähes samat molemmissa skenaarioissa eli savusululla ei huomata olevan juurikaan merkitystä (kuva 56).



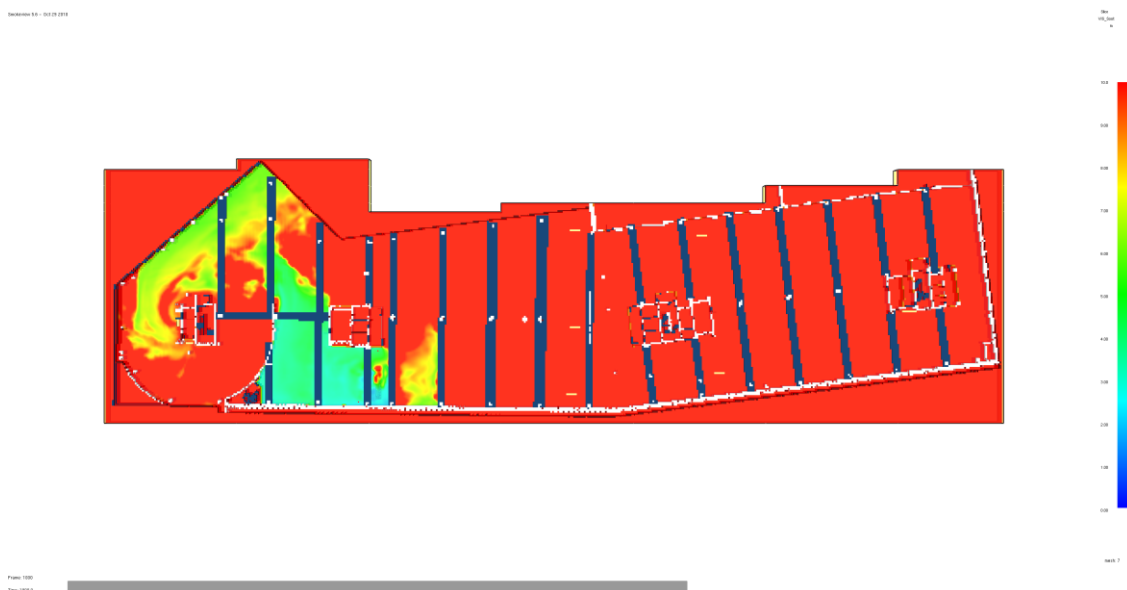
Kuva 57. Skenaario 3, näkyvyys ajassa 1 200 sekuntia.

Viiden minuutin jälkeen savunpoiston käynnistymisestä oikealle puolelle autosuojaa on saatu näkyvyyden kannalta erittäin hyvät olosuhteet, ja molemmat porrashuoneet oikealla ovat palokunnan kannalta käyttökelpoisia (kuva 57).



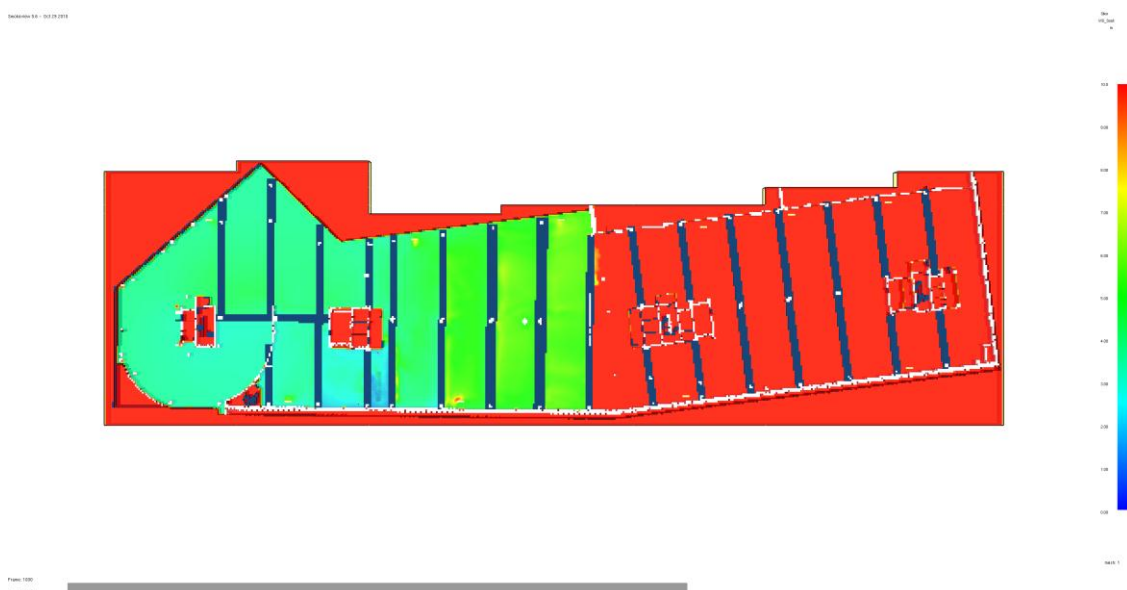
Kuva 58. Skenaario 4, näkyvyys ajassa 1 200 sekuntia.

Näkyvyydet ovat hyvät autosuojassa oikealla myös skenaariossa 4 (kuva 58), mutta ero on suuri verrattuna skenaarioon 3.



Kuva 59. Skenaario 3, näkyvyys ajassa 1 800 sekuntia.

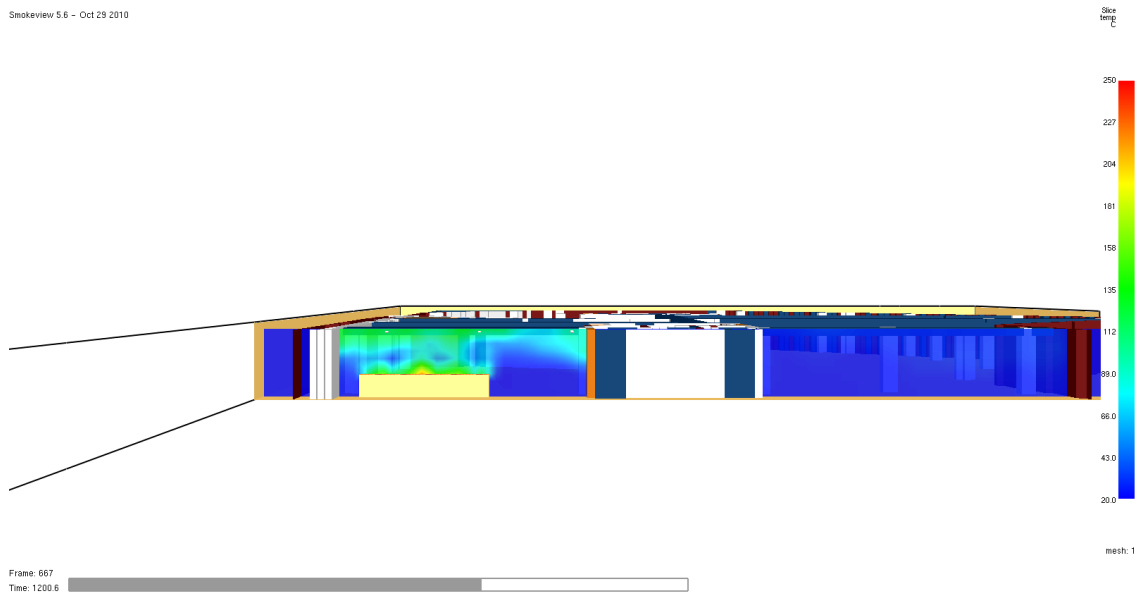
Simuloinnin päättyessä tilanne on ollut stabiili jo yli viiden minuutin ajan, ja näkyvyys on erittäin hyvä skenaariossa 3 (kuva 59).



Kuva 60. Skenaario 4, näkyvyys ajassa 1 800 sekuntia.

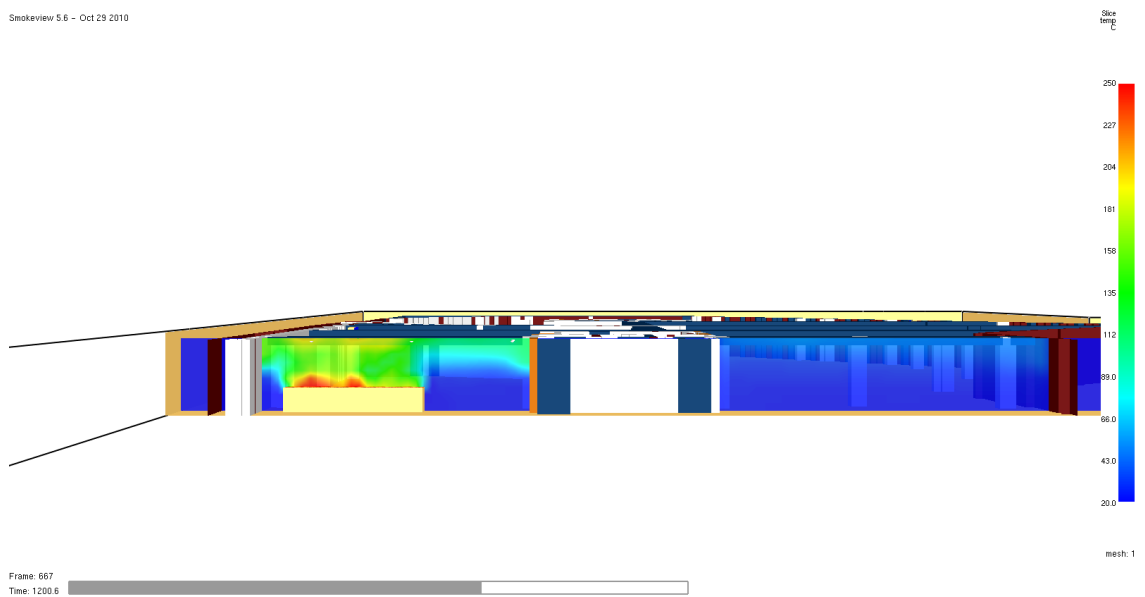
Simuloinnin päättyessä näkyvyys on hyvä myös skenaariossa 4 (kuva 60). Tilanne on kuitenkin selvästi huonompi kuin skenaariossa 3. Autosuojan oikealle puolelle on kuitenkin saatu vähintään kymmenen metrin näkyvyys, joka helpottaa selvästi palokunnan sammutustyötä.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Kuva 61. Skenaario 3, y-akselin suuntainen lämpötilaleikkaus ajassa 1 200 sekuntia.

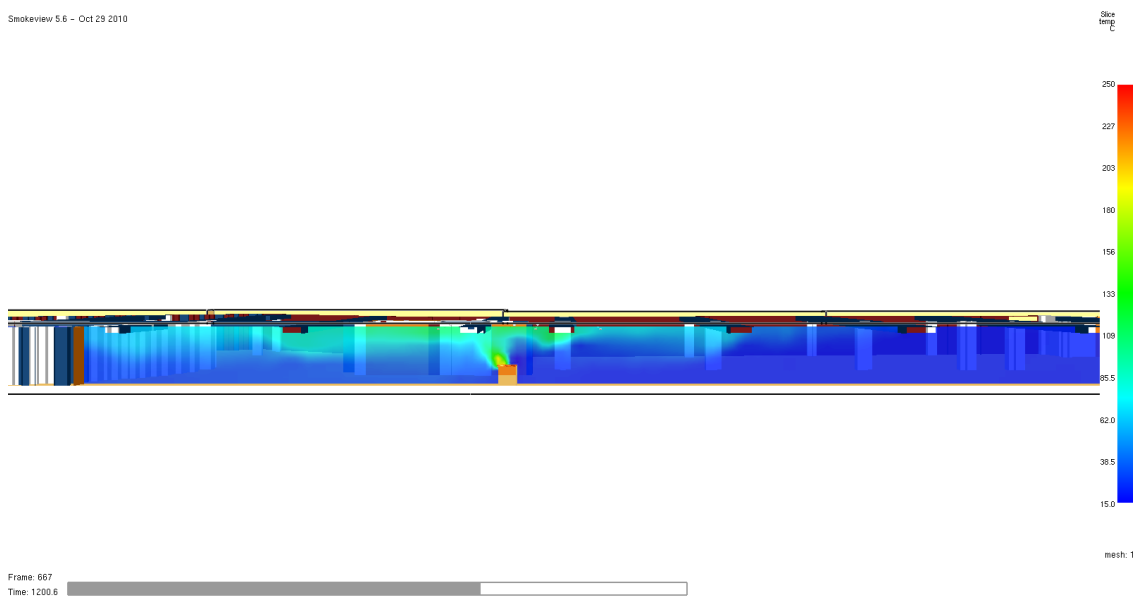
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Kuva 62. Skenaario 4, y-akselin suuntainen lämpötilaleikkaus ajassa 1 200 sekuntia.

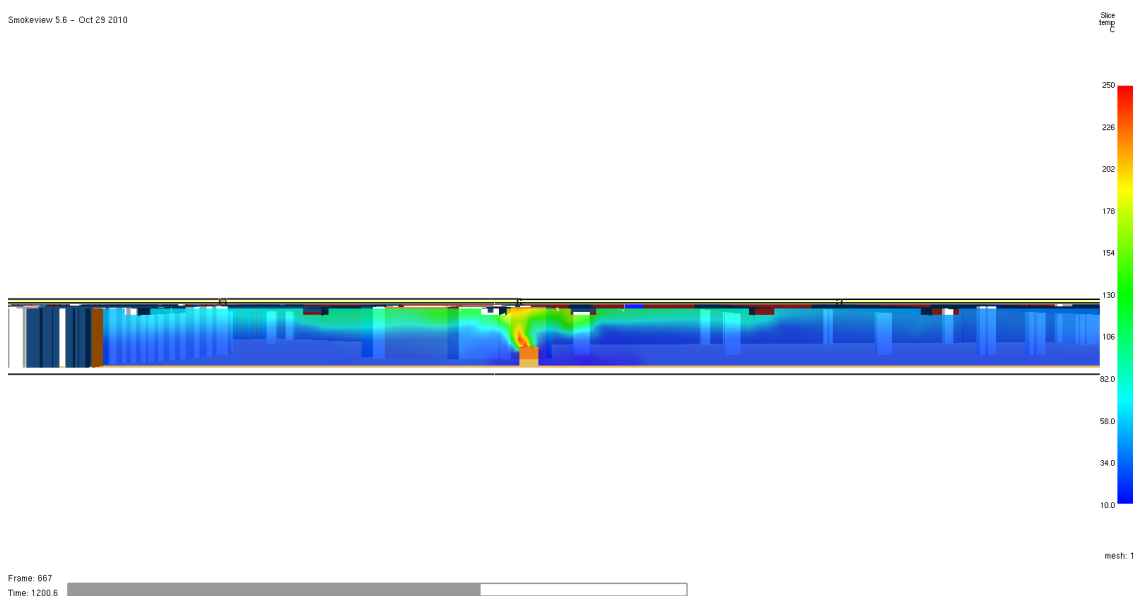
Leikkauskuvien (kuvat 61 ja 62) osalta huomataan, että skenaariossa 3 lämpötilat ovat selvästi alhaisemmat. Punainen alue kuvaa lämpötilaa, joka on selvästi yli 250 °C. Skenaariossa 4 lämpötilat näyttäivät melko alhaisilta, sillä palon yläpuolelle syntyy erittäin voimakas savunpoistolaitteiston aiheuttama virtaus.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



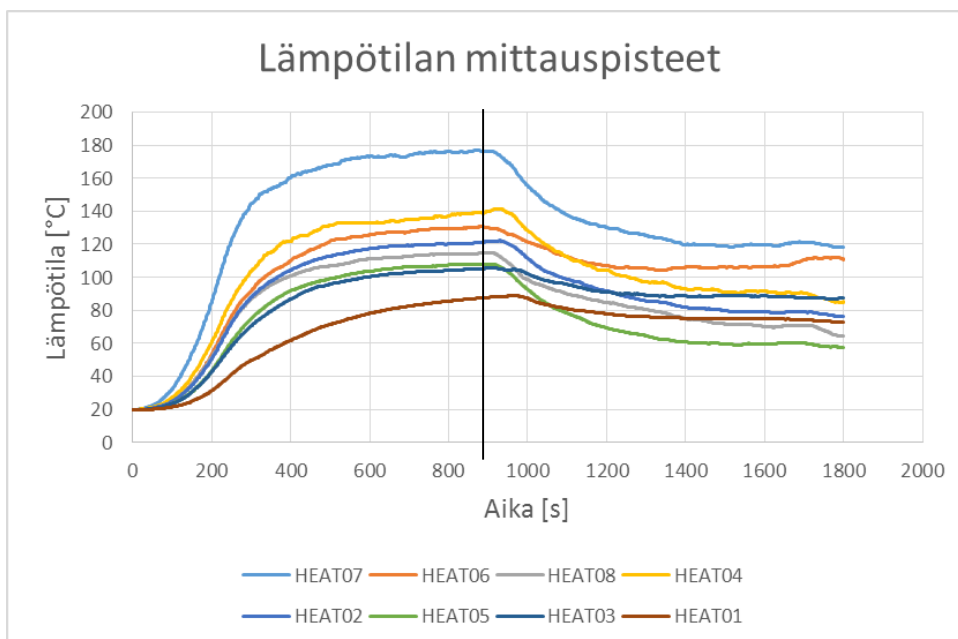
Kuva 63. Skenaario 3, x-akselin suuntainen lämpötilaleikkaus ajassa 1 200 sekuntia.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

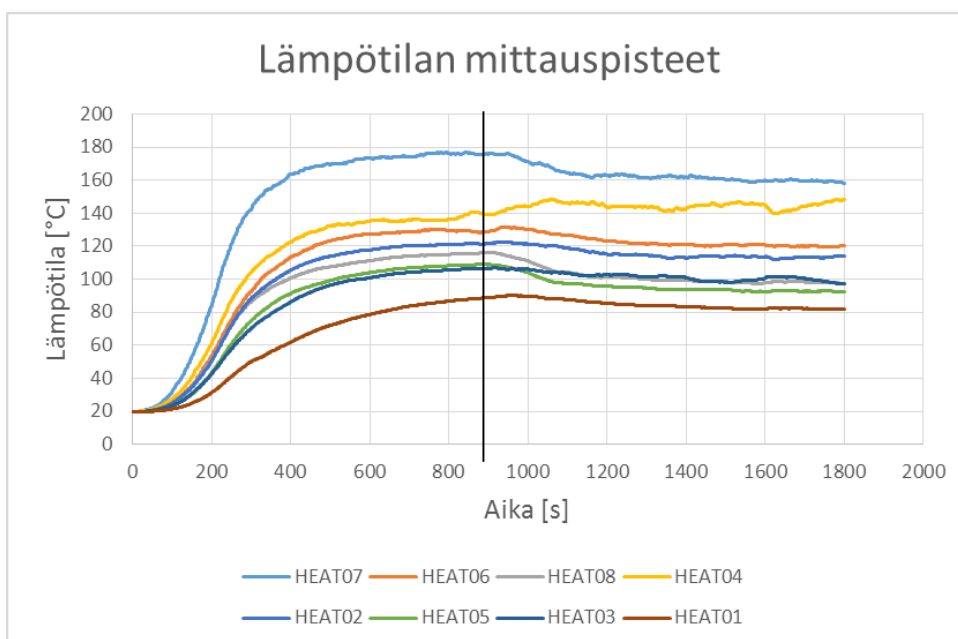


Kuva 64. Skenaario 4, x-akselin suuntainen lämpötilaleikkaus ajassa 1 200 sekuntia.

Myös tästä kuvakulmasta otettujen leikkauskuvien (kuvat 63 ja 64) perusteella voidaan huomata, että lämpötilojen osalta on eroja. Skenaariossa 3 eli suuntapainepuhaltimilla järjestetty savunpoisto poistaa kuumia savukaasuja tehokkaammin. Tästä kuvakulmasta nähdään myös voimakas virtaus palon yläpuolella skenaarion 3 osalta.

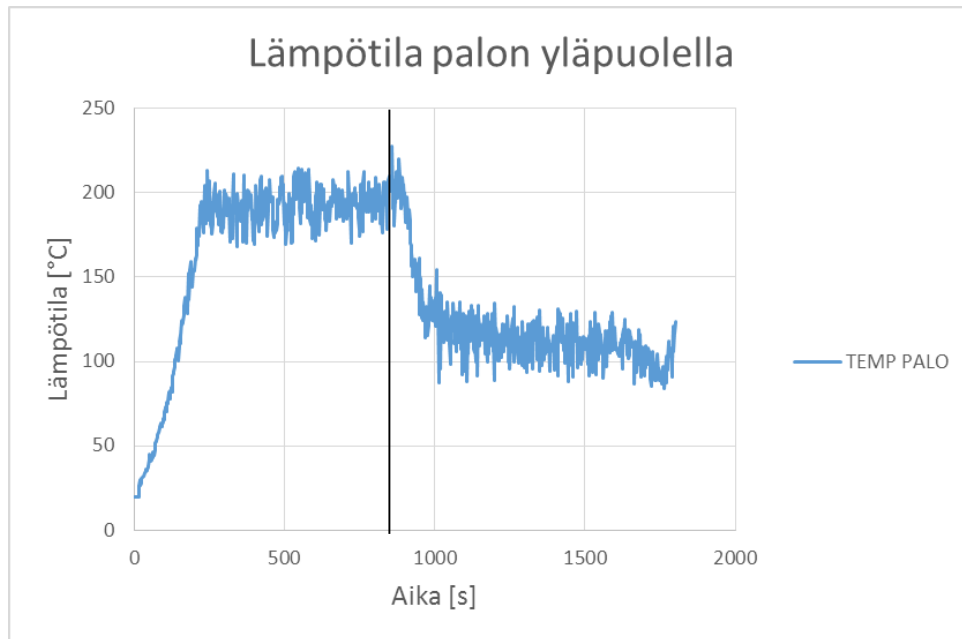


Kuva 65. Skenaario 3, lämpötilan mittauspisteet.

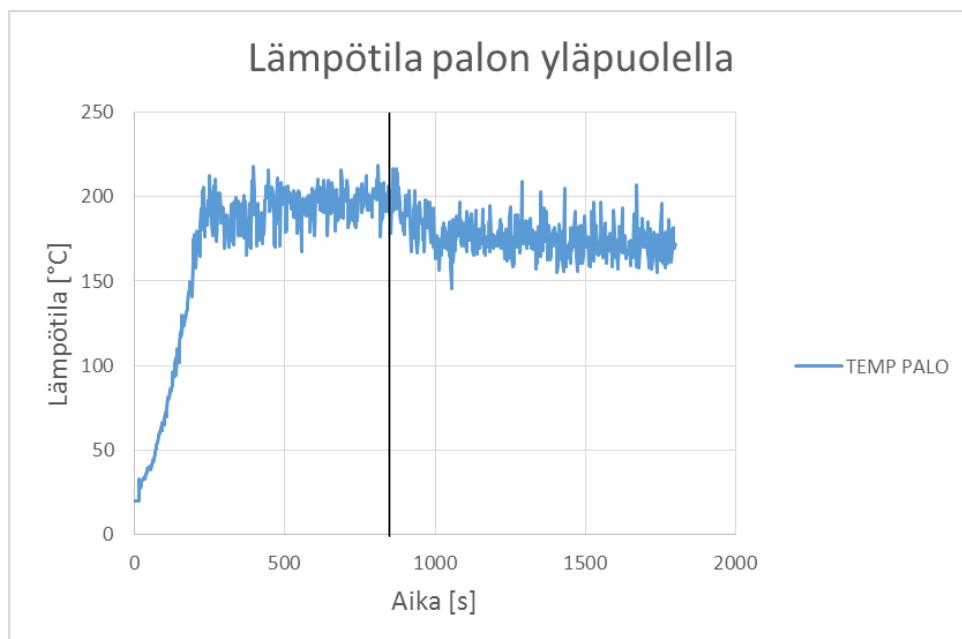


Kuva 66. Skenaario 4, lämpötilan mittauspisteet.

Skenaarioiden 3 ja 4 osalta mitoituspalon läheisyydessä olevien lämpötilamittareiden erot ovat selvästi havaittavissa (kuvat 65 ja 66). Skenaariossa 3 huomataan tuloksista, kuinka savunpoiston kytkeminen ajassa 900 sekuntia pudottaa lähes välittömästi lämpötila-arvoja ja ne ovat matalampia kuin skenaariossa 4. Skenaariossa 4 savunpoisto ei juurikaan laske lämpötilaa palon läheisyydessä.



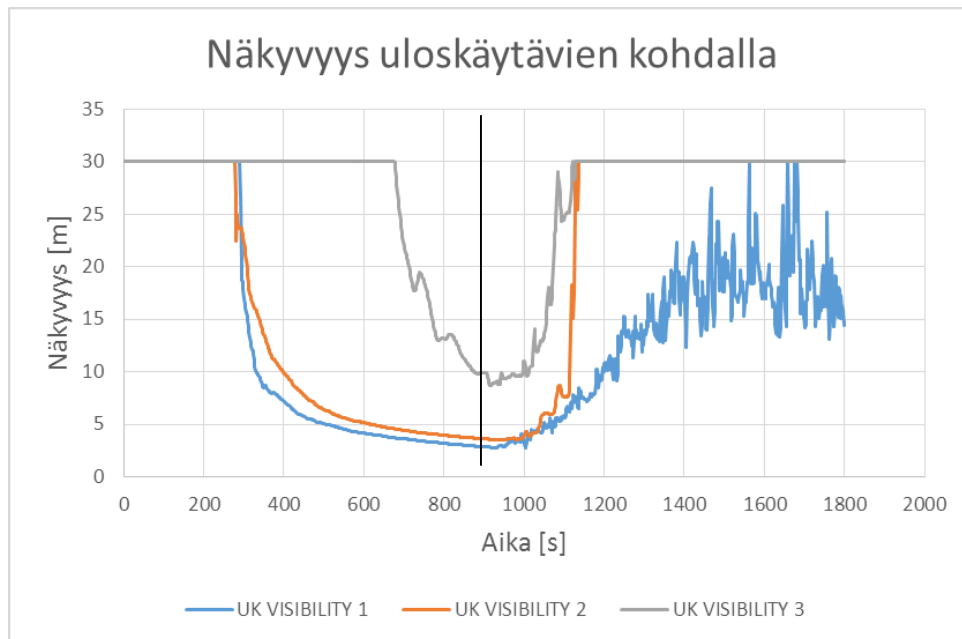
Kuva 67. Skenaario 3, lämpötila palon yläpuolella.



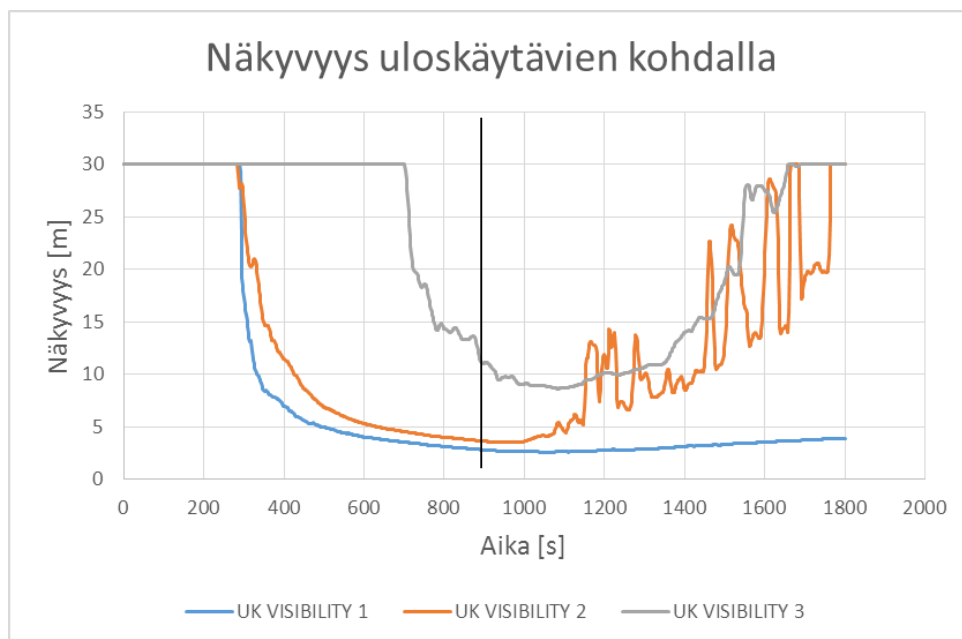
Kuva 68. Skenaario 4, lämpötila palon yläpuolella.

Myös lämpötila mitattuna suoraan palon yläpuolelta havainnollistaa lämpötilamuutoksen savunpoiston käynnistyessä skenaariossa 3 (kuva 67). Skenaariossa 4 lämpötilojen osalta ei tapahdu selkeää alenemaa savunpoiston käynnistymisen jälkeen (kuva 68). Lämpötilan voimakas lasku suoraan palon yläpuolella kertoo voimakkaasta virtauksesta

mitoituspalon kohdalla skenaariossa 3. Lämpötilat ovat todellisuudessa korkeammat palon yläpuolella, sillä mittari TEMP PALO mittaa savukaasujen lämpötilaa.



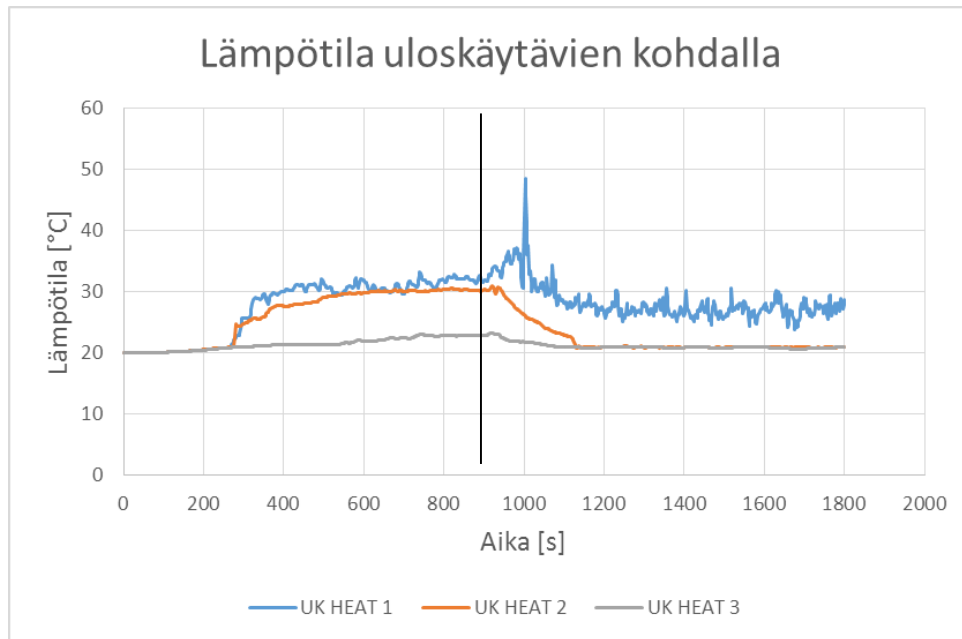
Kuva 69. Skenaario 3, näkyvyys uloskäytävien kohdalla.



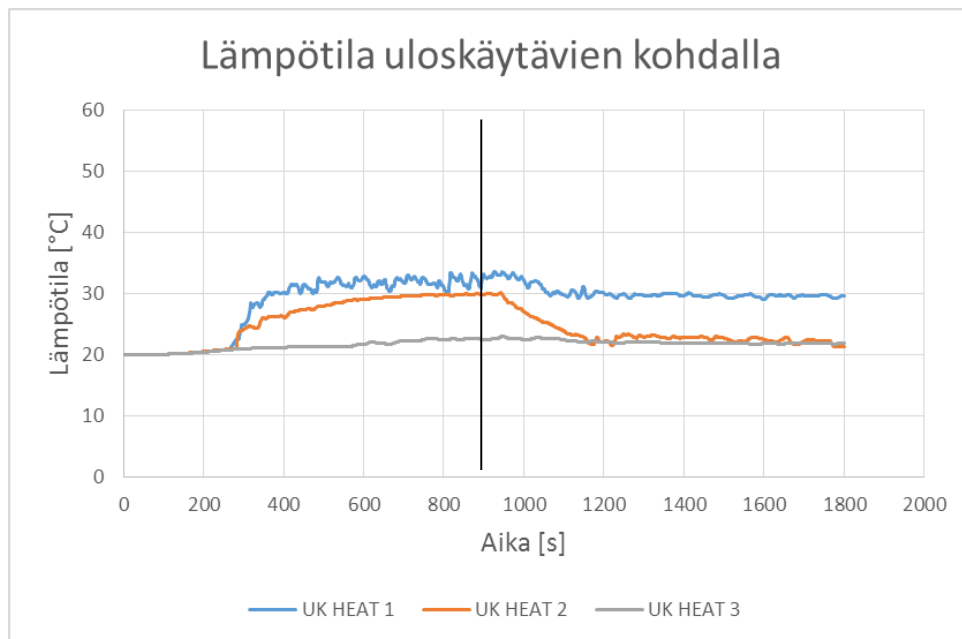
Kuva 70. Skenaario 4, näkyvyys uloskäytävien kohdalla.

Näkyvyyksien osalta huomataan, että mitoituspaloa lähimpänä sijaitsevan porrashuoneen ja autosuojan keskivaiheilla sijaitsevan porrashuoneen näkyvyydet putoavat melko

nopeasti kriittisiin arvoihin (kuvat 69 ja 70). Savusulun merkitys on näkyvyyksien osalta pieni skenaarioiden välillä. Myös palokunnan käyttöön olevaa sammutusreittiä ei voida juurikaan käyttää, koska mitoituspalo sijaitsee sen vieressä. Skenaariossa 3 suuntapainepuhaltimien avustamana saadaan kahden kauimmaisen porrashuoneen näkyvyydet yli 30 metriin jo muutaman minuutin jälkeen savunpoiston käynnistymisestä. Skenaariossa 3 ailahteleva näkyvyysmittari UK VISIBILITY 1 kertoo siihen kohdistuvasta voimakkaasta turbulenssista. Skenaariossa 4 savunpoistolla saadaan myös kaksi kauimmaisinta porrashuonetta näkyvyyksien osalta palokunnan käyttöön, mutta tähän kuluu huomattavasti enemmän aikaa kuin skenaariossa 3. Skenaariossa 4 näkyvyysmittari UK VISIBILITY 2 ailahtelee, ja tähän todennäköinen syy on korvausilmapisteen läheinen sijainti.

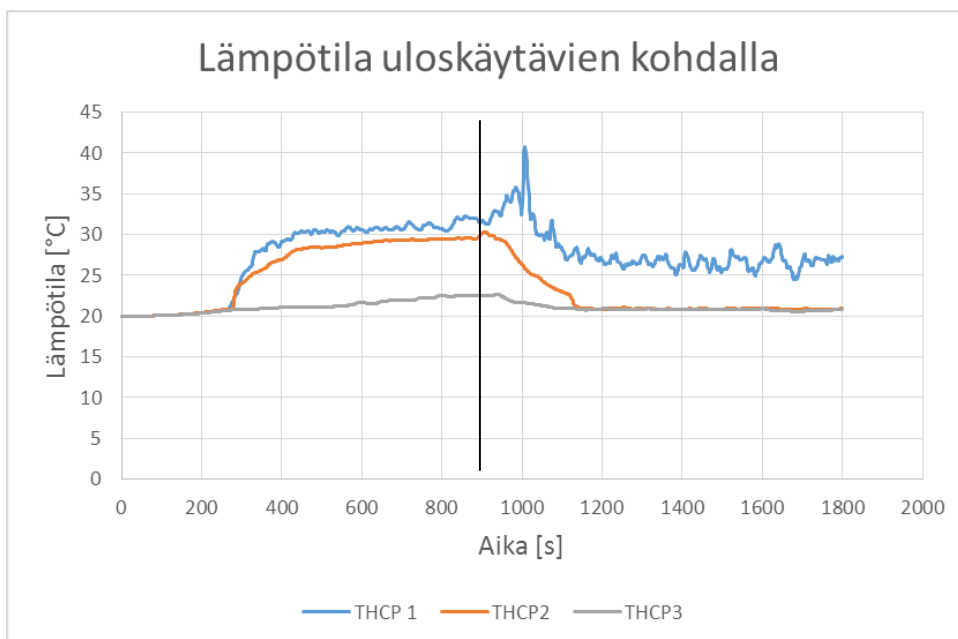


Kuva 71. Skenaario 3, lämpötila uloskäytävien kohdalla.

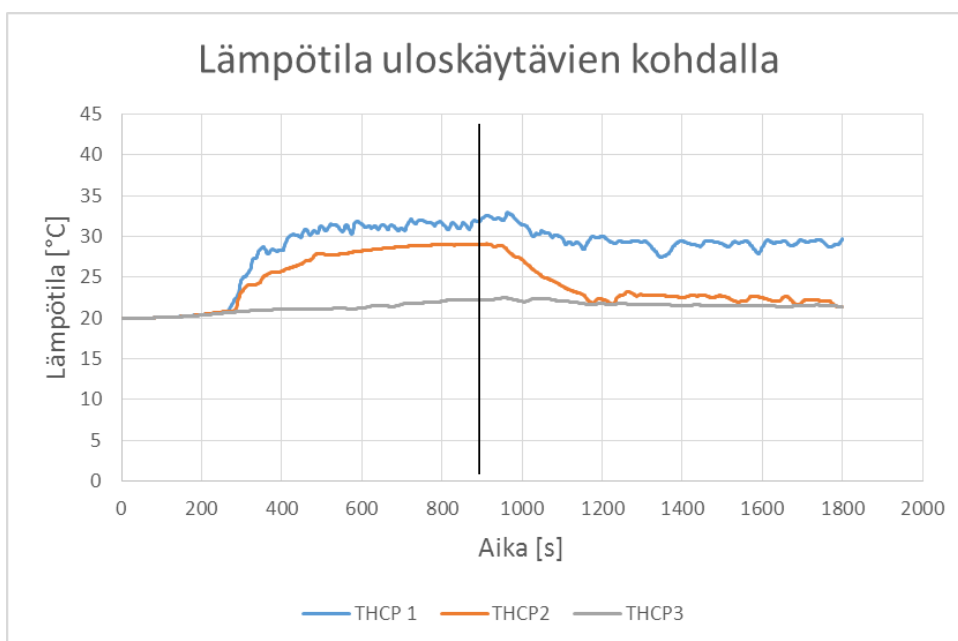


Kuva 72. Skenaario 4, lämpötila uloskäytävien kohdalla.

Lämpötilojen osalta ei ole huomattavia eroja uloskäyntien kohdalla (kuvat 71 ja 72). Skenaariossa 3 turbulenttinen virtaus aiheuttaa hieman lämpötilan nousua ja laskua savunpoistokuilun läheisyydessä olevan porrashuoneen edustalla. Lämpötilat pysyvät melko matalina porrashuoneiden edustalla.



Kuva 73. Skenaario 3, lämpötila uloskäytävien kohdalla eri mittarilla mitattuna.



Kuva 74. Skenaario 4, lämpötila uloskäytävien kohdalla eri mittarilla mitattuna.

Lämpötilojen osalta ei ole huomattavia eroja uloskäyntien kohdalla (kuvat 73 ja 74). Skenaariossa 3 turbulenttinen virtaus aiheuttaa hieman lämpötilan nousua ja laskua savunpoistokuilun läheisyydessä olevan porrashuoneen edustalla. Vaihtelut ovat maltillisemmat erityyppisellä mittarilla mitattuna. Lämpötilat pysyvät matalina.

8 Johtopäätökset

Savunpoistojärjestelmien osalta voidaan todeta, että ainakin tässä kohteessa suuntapainepuhaltimilla toteutettu järjestelmä oli kokonaisuudessaan parempi kuin kanavoitu savunpoiston imupisteillä varustettu järjestelmä. Skenaarioiden 1 ja 3 tulokset osoittivat selvästi, että lämpötilojen, näkyvyyksien ja savun määrän osalta nämä kyseiset skenaariot olivat palosimulointien perusteella onnistuneempia kuin skenaariot 2 ja 4.

Kaikissa skenaarioissa savunpoiston toiminta oli kuitenkin riittävän hyvällä tasolla joka tapauksessa, sillä kohteen savunpoiston tarkoitus on auttaa palokuntaa sammutustyössä. Tulee kuitenkin huomioida tulosten osalta, että paloteho on rajoitettu hyvin pieneksi automaattisen sammutuslaitteiston avulla kaikissa skenaarioissa. Mikäli automaattinen sammutuslaitteisto ei toimisi, paloteho olisi huomattavasti korkeampi tuottaen paljon runsaammin savua, jolloin tässä työssä esitetyt tulokset voisivat olla molemmissa järjestelmissä selvästi huonommat. Automaattisen sammutuslaitteiston toimimattomuutta ei tutkittu tässä työssä, mutta tämän työn tulosten perusteella voidaan päätellä, että kanavoidun savunpoistojärjestelmän virtaamat tuskin riittäisivät tässä tapauksessa. Toisaalta mikäli automaattinen sammutuslaitteisto ei toimisi näin haastavassa kohteessa, voidaan pitää todennäköisenä, että koko autosuoja saattaisi palaa ja sammutustyö tapahtuisi todennäköisemmin tukahduttamalla palo suljetussa tilassa. Mikäli automaattinen sammutuslaitteisto ei toimisi maanalaisessa autosuojassa, sammutustoiminta olisi tällöin erittäin haastavaa eikä savunpoistolaitteistollakaan mahdollisesti saavutettaisi sitä tarkoitusta, johon laitteisto on suunniteltu.

Palosimulointien perusteella suuntapainepuhaltimia voi tämän työn perusteella suositella käytettäväksi savunpoistoon. Suuntapainepuhaltimia käytettäessä säästytään myös tilaa vieviltä kanavoinneilta niin ilmanvaihdon kuin savunpoiston osalta. Tilaa ja materiaaleja säästävät ratkaisut johtavat myös usein kustannuksiltaan pienempään lopputulokseen, vaikka tähän ei tässä työssä otettukaan kantaa.

Tässä työssä käytettyä oletettuun palonkehitykseen perustuvaa suunnittelumenetelmää eli palosimulointia pidän omalta osaltani kelvollisena ja suositeltavana suunnitteluvälineenä.

9 Työn aikana syntyneet havainnot

Tämän insinööriyön aikana syntyi muutamia erityisiä havaintoja liittyen autosuojien paloturvallisuuteen. Erityisesti maanalaisten autosuojien osalta tulee suunnittelussa huomioida monia paloteknisiä asioita, joista päällimmäisenä nousee savunpoiston suunnitteleminen ja toteuttaminen. Savunpoiston järjestäminen vaatii suurten virtaamien vuoksi huomattavan suuret tilavaraukset pystysuunnassa kuilujen osalta sekä vaakasuunnassa mahdollisten kanavointien, puhallinten tai luukkujen osalta. Savunpoisto vaatii myös saman määrän korvausilmaa, joka saattaa omalta osalta myös aiheuttaa suuria tilatarpeita. Autosuojien savunpoiston suunnitteluun tulisi siis panostaa asiantuntijoiden toimesta, jotta ratkaisusta saataisiin toimiva, järkevä ja mahdollisimman helposti toteutettavissa oleva järjestelmä.

Suuntapainepuhaltimien osalta pinnalle nousi se, että suuntapainepuhaltimien sijoitukseen ei ole olemassa vielä virallisia erityismääräyksiä tai suunnitteluohjeita. Suuntapainepuhaltimien sijoitukset laaditaan siis useasti laitetoimittajien tekemien simulointien perusteella, jotka yleensä koskevat ilmanvaihdon virtaussimulointeja. Ilmanvaihdollisesti toimivat puhaltimien sijoitukset eivät kuitenkaan tarkoita, että savunpoisto toimisi. Laitetoimittajien laatimien sijoitusten vuoksi saattaa myös olla, että suuntapainepuhaltimien määrää lisätään myynnin vuoksi ja näin ollen liian monella tai epäoptimaalisesti sijoitettulla suuntapainepuhaltimella voidaan vain pahentaa tilannetta savunpoistotilanteessa. Lähtökohtaisesti olisi parempi, jos suunnittelijat laatisivat suuntapainepuhaltimien sijoitukset esimerkiksi yhteistyössä laitetoimittajan kanssa eikä niin, että suunnittelussa ollaan riippuvaisia laitetoimittajien laatimista suunnitelmista.

Suuntapainepuhaltimilla toteutetun savunpoistojärjestelmän mitoitusvirtaamat kasvavat suuremmiksi kuin kanavoidussa järjestelmässä, koska suuntapainepuhaltimia käytettäessä autosuojaa ei jaeta savulohkoihin savusulkujen avulla, vaan autosuojaa käsitellään yhtenä savulohkona, joka jaetaan toiminnallisiin alueisiin. Näin ollen luonnollisestikin suuremmat savunpoistomäärät edesauttoivat tuloksia skenaarioiden 1 ja 3 osalta tässä työssä. Jälkikäteen ajateltuna olisi ollut hyvä tehdä palosimuloinnit autosuojan osalta myös niin, että skenaarioiden 1 ja 3 savunpoisto olisi järjestetty samalla savunpoistovirtaamalla, mutta ilman suuntapainepuhaltimia. Näin olisi voitu vertailla suuntapainepuhaltimien aiheuttaminen virtausten vaikutuksia savunpoiston toimintaan. Autosuojan geometrialla on varmasti vaikutus savunpoiston toimintaan, eli olisi ollut hyvä tehdä tarkastelu kohteesta myös edellä mainitulla tavalla.

Lähteet

- 1 Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132
- 2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma>. Päivitetty 22.10.2013. Luettu 28.12.2013.
- 3 Rakennusten paloturvallisuus. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 4 Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa. 2003. Ympäristöopas 39. Ympäristöministeriö, asunto ja rakennusosasto. Helsinki. Edita Prime Oy.
- 5 Autosuojien paloturvallisuus. 2005. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E4. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 6 RIL 195-4-2005. Rakenteellinen paloturvallisuus, Pysäköintilaitokset. 2005. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hakapaino Oy.
- 7 RIL 232-2012. Rakennusten savunpoisto. 2012. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Tammerprint Oy.
- 8 Palontorjuntakäsikirja. Periaatteet, järjestelmät ja tuotteet. 2012. Versio FI 2012.01. Fläkt Woods Oy.
- 9 SFS 7025. Savunpoistopuhaltimille eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. 2010. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
- 10 JM HT-sarjan savunpoistopuhaltimet 50 Hz. Tekninen esite. 2007. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy. <<http://www.flaktwoods.fi/fa810955-38c6-47f5-b829-96f7864fb249>>. Päivitetty 14.8.2007. Luettu 13.3.2014.
- 11 Jet Thrust System - ratkaisu suljetun paikoitustilan ilmanvaihtoon. Markkinointiesite. 2012. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy. <<http://www.flaktwoods.fi/86712458-6636-4f25-80c2-3fc5395922a6>>. Päivitetty 19.9.2012. Luettu 13.3.2014.
- 12 SFS 7024. Savunpoistoluukuille eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. 2010. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
- 13 Hämäläinen, Sami. 2014. Toimitusjohtaja, Paloässät Oy, Espoo. Keskustelu 4.3.2014.

- 14 Sjöstedt, Arttu. 2014. LVI-insinööri, Paloässät Oy, Espoo. Keskustelu 4.3.2014.
- 15 RIL 221-2003. Paloturvallisuussuunnittelu, Oletettuun palonkehitykseen perustuva suunnittelu ja ratkaisuesimerkit. 2003. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Yleisjäljennös- Painopörssi.
- 16 Hietaniemi, Jukka. 2007. Palon voimakkuuden kuvaaminen toiminnallisessa paloteknisessä suunnittelussa. Espoo. VTT.
- 17 Robbins, A.P. & Wade C.A. 2007. Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies, BRANZ Study Report 185. New Zealand, Porirua. BRANZ Ltd.
- 18 Pyrosim User Manual. 2012. Thunderhead engineering.
- 19 Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide. 2010. National Institute of Standards and Technology.

[illegible]